

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY ŘETĚZŮ

UNCONVENTIONAL PRODUCTION TECHNOLOGY OF CHAINS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Michal Hostinský

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Hostinský

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Nekonvenční technologie výroby řetězů

v anglickém jazyce:

Unconventional production technology of chains

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití metod nekonvenčního obrábění při výrobě válečkových a dopravních řetězů. Rozbor možností aplikace paprskových nekonvenčních metod řezání laserem a vodním paprskem při výrobě desek, na které nejsou zhotoveny střížné nástroje.

Cíle diplomové práce:

Úvod.

Rozbor součástkové základny.

Rozbor technologičnosti konstrukce.

Návrh aplikace paprskových nekonvenčních metod.

Zpracování technologické přípravy výroby pro vybraného představitele.

Technicko-ekonomické vyhodnocení.

Diskuze.

Závěr.

Seznam odborné literatury:

BARCAL, Jaroslav. Nekonenční metody obrábění. Skriptum FSI ČVUT. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1989.

MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. 1. vydanie. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-7099-430-4.

HÍREŠ, Ondrej, Michal HATALA a Sergej HLOCH. Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým oblúkom, 1. vydání. Jiří Pustina: Ostrava – Poruba, 2007, 147 s. ISBN 978-80-8073-769-6.

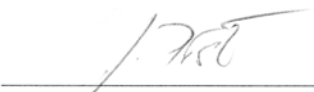
KRAJNÝ, Zdenko. Vodný lúč v praxi WJM. 1.vydanie, Bratislava: Ing. Michal Mračko, 1998, 214 s. ISBN 80-8057-091-4.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 25.11.2013 13:40





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Nekonvenční technologie a jejich neustálý vývoj přináší nové možnosti ve výrobním procesu. Předkládaný projekt je zaměřen na řešení problematiky zpracování plechů při výrobě speciálních dílů válečkových a dopravních řetězů. Při posouzení technologičnosti součástí bylo řezání laserem vyhodnoceno jako nejoptimálnější technologie. S tímto cílem bylo uspořádáno výběrové řízení, na nákup nového stroje určeného do strojírenského provozu firmy ŘETĚZY VAMBERK, která se řadí mezi nejvýznamnější výrobce dopravních, válečkových a speciálních řetězu v Evropě.

Klíčová slova

nekonvenční technologie, zpracování plechů, dělení materiálu, řezání laserem, výroba řetězů

ABSTRACT

Unconventional technologies and their continual development brings along new possibilities in the manufacturing process. The submitted project is focused on solving problems in the procession of sheet metals in the manufacture of special parts of roller and conveyor chains. In the assessment of the technology of components, laser cutting was evaluated as the most optimal technology. With this goal, there was a public tender in terms of the purchase of a new machine designed for the manufacturing operations of the company of RETEZY Vamberk. This company ranks among the most major manufacturers of conveyor, roller and special chains in Europe.

Key words

unconventional technologies, procession of sheet metals, material cutting, laser cutting, manufacture of chains

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOSTINSKÝ, Michal. *Nekonvenční technologie výroby řetězů*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 83 s. 6 příloh. Ing. Karel Osička Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Nekonvenční technologie výroby řetězů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Michal Hostinský

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Karlu Osičkovi Ph.D. za rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji Petru Hynkovi, Petru Vikovi, Ing. Milanu Polochovi a Janu Burešovi MSc., že mi poskytli maximální prostor a oporu pro úspěšné vypracování práce ve firmě ŘETĚZY VAMBERK spol. s.r.o.

Dále chci touto cestou poděkovat všem, kteří mne za dobu mého studia obohatili o nové vědomosti, díky kterým se mi podařilo dojít až k této práci. Zvláště pak chci poděkovat své rodině za maximální podporu a shovívavost po čas celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 VÝROBNÍ SORTIMENT.....	10
1.1 Dopravní a válečkové řetězy.....	10
1.2 Speciální díly řetězů.....	11
1.3 Problémy ve stávající výrobě	11
1.4 Výrobní požadavky	12
1.5 Materiály součástí.....	13
1.5.1 Vhodnost materiálu k aplikaci řezání laserem	16
1.6 Tloušťky polotovarů součástí	17
1.7 Délky řezů z jednotlivých tlouštěk materiálu.....	17
1.7.1 Převod hmotnosti polotovarů na referenční tloušťky	18
1.7.2 Počty zpracovaných plechů.....	18
1.7.3 Průměrná délka řezu z tabule dle tloušťky materiálu.....	19
1.7.4 Procentuální rozložení délek řezů	21
2 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE.....	22
2.1 Technologie řezání vodním paprskem	22
2.2 Řezání paprskem plazmy.....	24
2.3 Technologie řezání laserem.....	26
2.3.1 Fyzikální princip laseru	26
2.3.2 Druhy laserů	28
2.3.3 Druhy laserového řezání	31
2.4 Srovnání paprskových metod.....	33
3 NÁVRH APLIKACE LASERU.....	37
3.1 Zadání poptávky na technologii řezání laserem.....	37
3.2 Analýza nabídek v úvodním kole výběrového řízení	38
3.2.1 Cena zařízení	39
3.2.2 Spolehlivost výrobce.....	39
3.2.3 Vybavení stroje.....	39
3.2.4 Kvalita zpracování nabídky.....	40
3.3 Představení postupujících výrobců	40
3.3.1 Microstep.....	41

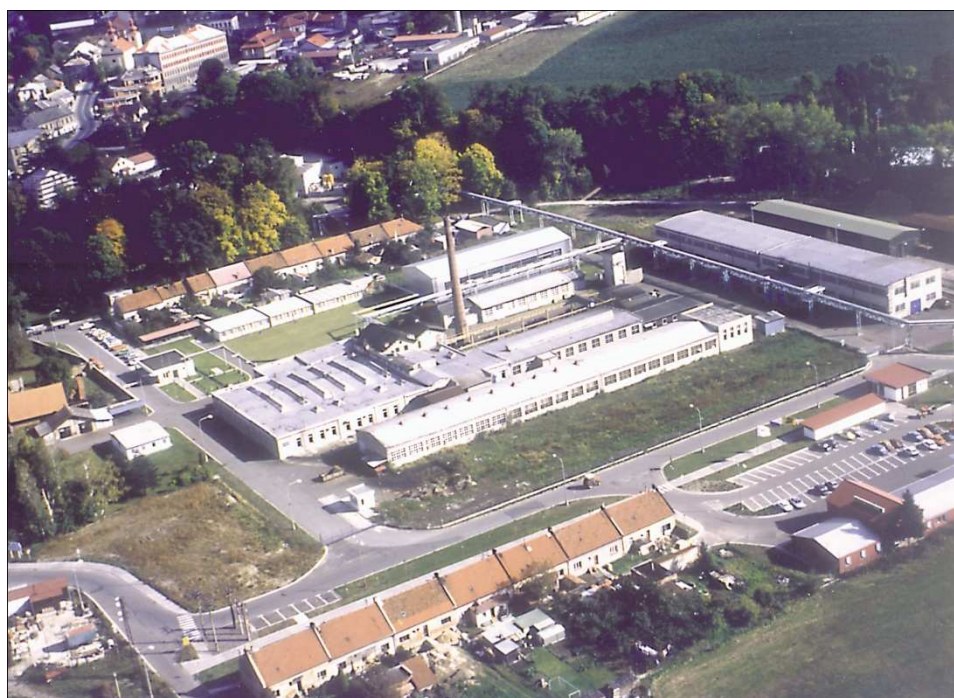
3.3.2	Bystronic.....	42
3.3.3	Trumpf	43
3.3.4	Mitsubishi Electric.....	44
3.3.5	Amada	45
3.4	Základní porovnání strojů.....	45
3.5	Vytíženost porovnávaných strojů	47
3.6	Produktivita strojů	49
3.7	Praktické testy strojů	50
3.8	Porovnání nákladů jednotlivých strojů.....	52
3.9	Stroj LCG-3015	55
4	ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉ PŘÍPRAVY VÝROBY	57
4.1	Nahrání součástí	57
4.2	Volba vlastností dílce	58
4.3	Volba technologických parametrů	58
4.4	Tvorba řezného plánu	59
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	61
5.1	Současné náklady na řezání dílů v kooperaci.....	61
5.2	Porovnání nákladů na provoz stroje s náklady na kooperaci	65
5.3	Teoretická úspora při vytížení stroje	66
5.4	Celkový hodinový náklad provozu stroje	67
5.5	Celkový náklad na metr řezu z materiálu tloušťky 6 mm.....	67
6	DISKUZE	68
6.1	Absence střížného nástroje.....	68
6.2	Malosériové zakázky	70
6.3	Opravy a chyby ve výrobě.....	70
6.4	Změna použité technologie	70
6.5	Bezpečnostní přínosy.....	71
6.6	Možnosti značení	71
6.7	Variabilita ve výrobě.....	71
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK	81
	SEZNAM PŘÍLOH	83

ÚVOD

Orientace v nekonvenčních technologiích a jejich aplikace v praxi je z hlediska výroby jednou z klíčových oblastí, která může výrazně zvýšit produktivitu, akceschopnost i spokojenost zákazníků strojírenských firem. Nejinak je tomu ve firmě Řetězy Vamberk spol. s.r.o. (obr. 1.0), která patří k nejvýznamnějším výrobcům dopravních, válečkových a speciálních řetězů v Evropě. Rostoucí sortiment výrobního programu, technologicky složitější modely řetězů a vzrůstající náklady na kooperaci byly prvotním impulsem pro pořízení některé z nekonvenčních technologií. S tímto vědomím a cílem práce, která by měla praktický přínos pro zaměstnavatele, jsem si zvolil téma tohoto projektu.

Po krátkém srovnání bylo řezání laserovým paprskem na základě rozboru součástkové základny a zkušeností společnosti s kooperací vyhodnoceno jako nejehospodárnější technologie. Aplikaci laserového řezání dnes na trhu nabízí řada výrobců. Na rozdíl od automobilového průmyslu však v této oblasti nelze snadno nalézt bohaté reference a tak je vzhledem k výši předpokládané investice vyžadováno intenzivní studium a konzultace s kvalifikovanými odborníky pro získání lepší orientace v dané problematice.

Diplomová práce v úvodu pojednává o technologičnosti výroby součástí. Je zde rozbor používaných materiálů, informace o funkci součástí a také popis současného stavu výroby. Navazující část se zabývá literární studií technologie řezání laserem a jejím srovnáním s jinými technologiemi. Nejdůležitějším bodem je výběrové řízení, porovnání strojů od různých výrobců a doporučení vhodného zařízení. Na tuto problematiku navazuje ekonomické vyhodnocení vybraného stroje. Závěr je věnován diskuzi nad přínosy nové technologie a otázce zvýšení vytíženosti stroje.



Obr. 1.0 Areál společnosti Řetězy Vamberk s r.o. z leteckého snímku.

1 VÝROBNÍ SORTIMENT

V úvodní kapitole bude krátce pojednáno o dopravních a válečkových řetězech. Zaměřeno bude na typy součástí, jejichž výroba je nyní řešena kooperací. Dále budou posouzeny materiály součástí a jejich vhodnost k aplikaci řezání laserem.

1.1 Dopravní a válečkové řetězy

Dopravní řetězy jsou určeny k montáži na různé typy dopravníků a podávacích mechanismů. Válečkové řetězy se používají v oblastech převodu, jsou zatíženy velkým převodovým zatížením a vysokou obvodovou rychlostí. Speciální řetězy řeší specifické požadavky zákazníků s cílem nejvhodnějšího individuálního řešení. Sortiment společnosti nachází využití od důlního průmyslu, zemědělství, zpracování dřeva a papíru, pekárenství, dopravy a v mnoha dalších odvětvích. V současnosti je společnost Řetězy Vamberk schopna nabídnout zákazníkům přes tři tisíce typů řetězů [5,6,7].

Každý řetěz se skládá z vnitřních a vnějších článků. Vnitřní článek je složen z vnitřních desek a pouzder, na kterých mohou být navléknuty různé typy válečků a kladek. Vnější článek se skládá z vnějších desek, do kterých jsou nalisovány čepy. Spojením vnitřních a vnějších článků vzniká řetěz. Konstrukce jednotlivých řetězů se liší dle svého použití (obr. 1.1). Na řetězech jsou často navařené různé typy unašečů a speciálních dílů dle účelu a požadavků zákazníka [6].

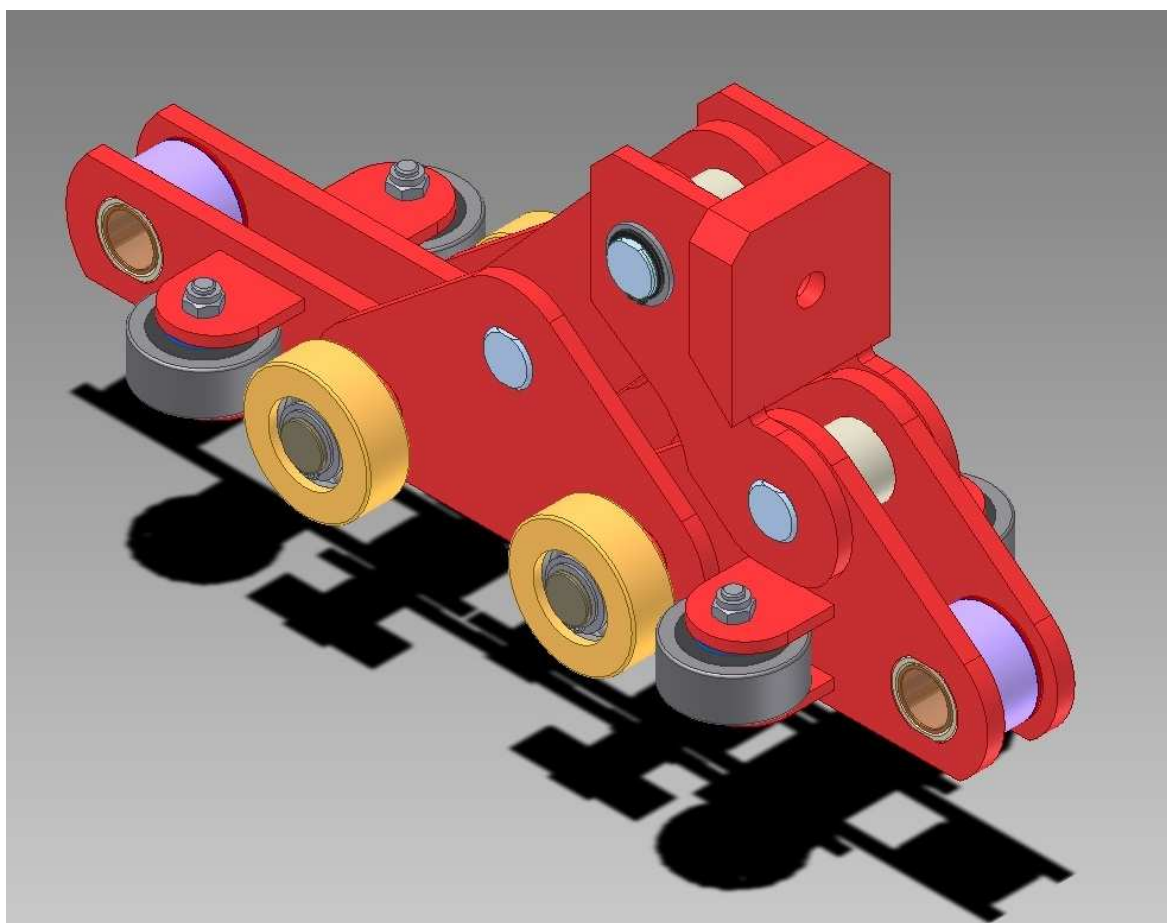


Obr. 1.1 Ukázka z výrobního sortimentu společnosti Řetězy Vamberk [6].

1.2 Speciální díly řetězů

Společnost Řetězy Vamberk je unikátní především výrobou nestandardních a složitých typů řetězů (obr. 1.2). Tyto řetězy se skládají ze speciálních součástí, jejichž zhotovení, či montáž jsou komplikací pro ostatní výrobce.

Díly jednotlivých řetězů lze dle tvaru rozdělit na rotační součásti, mezi které nejčastěji patří čepy, pouzdra, válečky a kladky. Rotační součásti jsou vyráběny pomocí CNC soustruhů nebo soustružnických center. Druhou skupinu tvoří ploché součásti, do kterých nejčastěji patří desky řetězů a většina unašečů. Výroba plochých součástí je z velké části realizována technologií plošného tváření.



Obr. 1.2 Model části složitého řetězu z automobilového průmyslu.

1.3 Problémy ve stávající výrobě

V současné době firma není schopna vyrábět veškerý potřebný sortiment speciálních plochých dílců a je nucena výrobu těchto součástí řešit pomocí kooperace řezání laserovým paprskem. Často je příčinou příliš malá výrobní série dané součásti, která vylučuje konstrukci nákladného střížného nástroje. V jiných případech je díl natolik komplikovaný, že plošné tváření není technologicky možné. Velmi často jsou však technologie plošného tváření, či obrábění ve srovnání s technologií řezání laserem značně neekonomické.

1.4 Výrobní požadavky

Výrobní požadavky se liší dle druhu výrobku a jeho funkce. Obecně však lze říci, že nároky na vnější tvar desek řetězu jsou nižší než na otvory v deskách. Do otvorů ve vnitřních deskách jsou při montáži zalisovány pouzdra. Otvory vnějších desek slouží k zalisování čepů. U těchto otvorů je tedy nutné pro správnou funkci řetězu dodržet vyšší přesnost. Otvory jsou kontrolovány kalibry s odchylkami jmenovitého rozměru – 0,065 mm u dobré strany a + 0,03 mm u zmetkové strany. Takto vysoké přesnosti je ve výrobě dosahováno děrováním, kterému u rozměrnějších součástí předchází ještě takzvané předděrování. Mezi důležité rozměry řetězu se obecně řadí světlost řetězu, rozteč řetězu a průměr kloubu. Tyto parametry jsou důležité pro správnou funkci řetězového převodu [6].

Výrobní požadavky na přesnost obvodu součástí jsou řádově nižší, jelikož rozměrová přesnost vnějšího tvaru desek není z hlediska funkce řetězu stěžejní. Přesnost těchto součástí se liší dle typu výrobku a je stanovena výkresem konkrétní součásti. Hojně se však u těchto rozměrů používají nepředepsané mezní úchytky střední třídy přesnosti, jejichž hodnoty se pohybují v řádu desetin mm. Požadavky na drsnost povrchu nejsou vysoké a lze je srovnávat s nároky na stříhání, kde se za přípustnou průměrnou aritmetickou odchylku povrchu považuje Ra 25. Důležitá je v tomto případě spíše vizuální stránka součástí. Nežádoucí jsou však případné vruby, které by mohly způsobit snížení životnosti řetězu.

Dalším typem výrobku jsou různé druhy unašečů a části svařenců, ve kterých mohou být zhotoveny například otvory pro šrouby. Výrobní požadavky těchto součástí (obr 1.3) jsou obdobné s nároky na tvar řetězových desek.



Obr. 1.3 Ukázka ze sortimentu kooperovaných dílů.

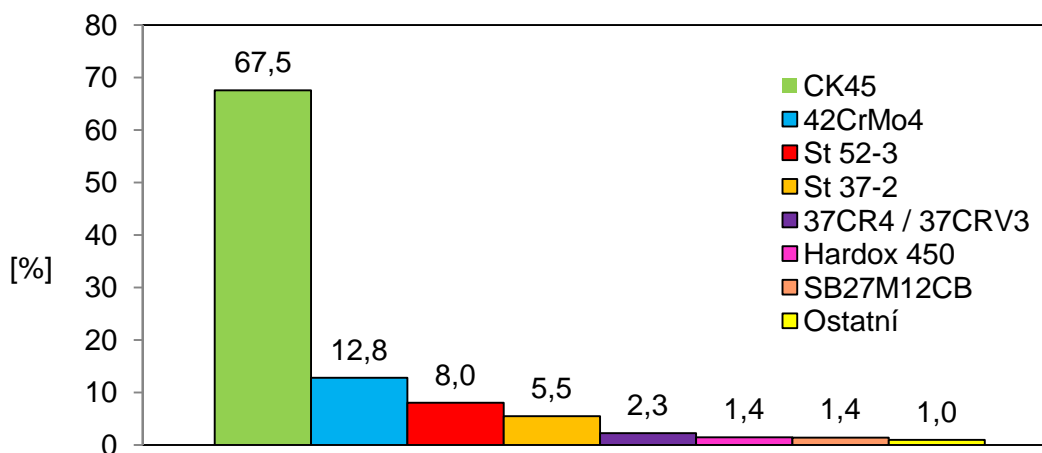
1.5 Materiály součástí

Pro lepší orientaci o materiálové skladbě součástí byl využit ve firmě používaný systém Vision 32. Správce systému získal na základě kooperovaných zakázek pro řezání laserem přehled zpracovaných polotovaru z let 2011 až 2014. Tato data byla následně zpracována v programu Microsoft Excel do tabulky 1.1 dle jakosti.

Tab. 1.1 Jakosti polotovarů zpracovaných v kooperaci laserem.

Hmotnost zpracovaných polotovarů dle jakosti [kg]					
Jakost	2011	2012	2013	2014	Celkem
CK45	53 182	63 675	89 661	96 746	303 264
42CrMo4	3 996	12 179	19 842	21 429	57 446
St 52-3	2 037	7 754	8 536	17 775	36 102
St 37-2	5 220	5 583	6 886	6 939	24 628
37CR4 / 37CRV3	1 149	5 853	2 962	259	10 223
Hardox 450	1 068	156	286	4 991	6 501
SB27M12CB			6 360		6 360
1.4301	348	484	457	1 556	2 845
1.4404		366	17	879	1 262
CK55			111	104	215
St 12		63	34	30	127
1.4845	0	0	25	0	25
1.4571	0	0	0	14	14
1.4401	0	0	0	10	10
1.4304			5		5
1.4828			3		3

Z údajů v tabulce 1.1 je patrné, že největší objem výroby je zpracován z materiálu CK45. Přehlednější srovnání je znázorněné grafem (obr. 1.4), ze kterého vyplývá, že 99 % výroby je tvořeno ze sedmi jakostí.



Obr. 1.4 Procentuální srovnání zpracovaných polotovarů dle jakosti.

CK45

Z tohoto materiálu jsou ve společnosti Řetězy Vamberk vyrobeny dvě třetiny kooperovaných součástí. Tento materiál je běžně používán na desky řetězů, které jsou během provozu namáhány tahovým zatížením. Odolnost vůči tomuto namáhání zajišťuje materiál CK45 s případným tepelným zpracováním. V českém značení ocelí odpovídá tomuto materiálu ekvivalent 12 050. Oceli třídy 12 jsou řazeny mezi ušlechtilé, nelegované oceli. Tyto oceli jsou pro své definované hranice chemického složení (tab. 1.2) vhodné k zušlechťování [6].

Tab. 1.2 Složení oceli CK45 [6,8].

Značka	Chemické složení v %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
				max.	max.	max.	max.	max.
CK45	0,42 – 0,50	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,04	0,04	0,25	0,3	0,3
								0,001 – 0,005

42CrMo4

Nízkolegovaná chrom-molybdenová ocel k zušlechťování. V českém značení této oceli odpovídá ekvivalent 15 142. Tato ocel je pro svou vyšší prokalitelnost vhodná pro výše namáhané strojní díly. Chemické složení oceli 42CrMo4 je uvedeno v tabulce 1.3 [10].

Tab. 1.3 Složení oceli 42CrMo4 [10].

Značka	Chemické složení v %						
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
			max.	max.	max.		
42CrMo4	0,36 - 0,47	0,56 - 0,94	0,43	0,03	0,04	0,85 - 1,25	0,12 - 0,33

St 52-3

Nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel vhodná ke svařování. V českém značení této oceli odpovídá materiál 11 523. Je vhodná pro svařované konstrukce a součásti s vyšší mezí kluzu. Užívá se též k výrobě ohýbaných profilů. Chemické složení oceli St 52-3 je uvedeno v tabulce 1.4 [11].

Tab. 1.4 Složení oceli St 52-3 [11].

Značka	Chemické složení v %				
	C	Mn	Si	P	S
	max.	max.	max.	max.	max.
St 52-3	0,2	1,6	0,55	0,04	0,045

St 37-2

Nelegovaná konstrukční ocel je určena na součásti a konstrukci strojů, které jsou namáhané staticky, nebo mírně dynamicky. V českém značení této oceli odpovídá ekvivalent 11 373. Pro zaručenou maximální hranici uhlíku je určena ke svařování. Použití nalézá v mnoha aplikacích, kde je třeba kombinace dobrých svařovacích vlastností s garantovanou pevností. Chemické složení oceli St 37-2 je uvedeno v tabulce 1.5 [13].

Tab. 1.5. Složení oceli St 37-2 [13].

Značka	Chemické složení v %			
	C	Mn	P	S
	max.	max.	max.	max.
St 37-2	0,17	1,4	0,045	0,045

37CR4 / 37CRV3

Chromová ocel k zušlechťování, s dobrou prokalitelností. V českém značení této oceli odpovídá ekvivalent 14 140. Chemické složení oceli 37CR4 je uvedeno v tabulce 1.6 [14].

Tab. 1.6 Složení oceli 37CR4 [14].

Značka	Chemické složení v %					
	C	Mn	Si	P	S	Cr
				max.	max.	
37CR4 37CRV3	0,35 – 0,42	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,035	0,035	0,80 - 1,10

Hardox 450

Hardox je speciální druh otěruvzdorné oceli určené na součásti, které jsou vystavené vysoké míře opotřebení. Chemické složení oceli Hardox 450 udávané výrobcem je uvedeno v tabulce 1.7 [12].

Tab. 1.7 Složení oceli Hardox 450 [12].

Značka	Chemické složení v %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	B
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
Hardox 450	0,25	1,6	0,7	0,025	0,01	1,4	1,5	0,6	0,005

SB27M12CB

Legovaná ocel určená k tepelnému zpracování. Použití na součásti odolávající vysokému opotřebení jako jsou například řetězová kola. V Evropském značení lze nalézt tento materiál pod označením 27MnCrB5-2. Chemické složení oceli SB27M12CB dle certifikátu je uvedeno v tabulce 1.8 [15].

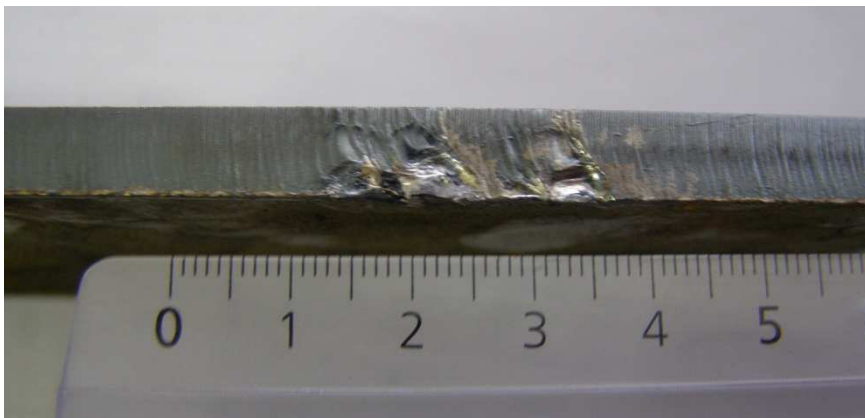
Tab. 1.8 Složení oceli SB27M12CB

Značka	Chemické složení v %				
	C	Mn	Si	P max.	S max.
SB27M12CB	0,25 – 0,30	1,00 – 1,40	0,15 – 0,35	0,035	0,035

1.5.1 Vhodnost materiálu k aplikaci řezání laserem

Z hlediska aplikace řezání laserem jsou zpracovatelné všechny druhy výše uvedených konstrukčních ocelí, což potvrzuje i současná kooperace laserového řezání u těchto jakostí. Jistý vliv na samotný proces mají však některé chemické prvky. Společnost Bystronic například uvádí doporučené hodnoty křemíku pro velmi dobrou obrobitelnost laserem do maximální hodnoty 0,04 %. Při obsahu křemíku nad 0,25 % lze předpokládat horší, nebo nepravidelnější výsledky řezání. To je způsobeno zvýšením viskozity materiálu při řezání, což ve finále způsobuje horší drsnost výsledného povrchu. Vyšší hodnoty uhlíku zase způsobují díky vnesenému teplu zakalení řezné hrany. Vyšší koncentrace manganu je komplikací z hlediska zdraví, což vyžaduje nutnost kvalitního odsávání. Důležitou roli hraje dle výrobců také homogenita materiálu a kvalita povrchu. Zkorodované plechy, nebo vměstky mohou způsobovat výrazné problémy s kvalitou řezu (obr. 1.5).

Do materiálů, které jsou v grafu (obr. 1.4) označeny jako ostatní spadají dle tabulky 1.1 některé druhy korozivzdorných ocelí, u kterých zpracování laserem obnáší jisté odlišnosti. Vzhledem k procentuálnímu objemu výroby však tyto materiály v další analýze nejsou uvažovány.



Obr. 1.5 Příklad výrazné chyby řezu.

1.6 Tloušťky polotovarů součástí

Z hlediska správné analýzy výrobního programu společnosti je vedle jakosti neméně důležitá síla zpracovávaných polotovarů. Za tímto účelem bylo stejně jako v případě jakosti využito dat ze systému Vision 32, ze kterých byla z let 2011 až 2014 vytvořena tabulka 1.9. V této tabulce jsou jednotlivé tloušťky materiálu rozděleny na barevná pásma, ve kterých jsou objemově nejvýznamnější zástupci barevně zvýrazněni.

Tab. 1.9 Přehled zpracovaného materiálu dle síly polotovaru.

Hmotnost zpracovaných polotovarů dle tloušťky materiálu [kg]					
Tloušťka [mm]	2011	2012	2013	2014	Celkem
1	0	2	32	87	121
1,5	114	69	136	267	586
2	124	255	864	318	1 561
2,5	51	86	359	245	741
3	1 061	1 359	2 745	4 672	9 837
3,5	880	187	1 152	838	3 057
4	1 549	2 672	4 134	5 880	14 235
4,5	222	27	672	1 055	1 976
5	6 860	5 852	8 289	11 024	32 025
6	19 759	11 712	27 923	21 057	80 451
6,5	674	10	10	553	1 247
7	3 630	4 143	6 125	11 634	25 532
8	6 349	10 135	16 632	21 249	54 365
10	7 254	14 819	28 702	24 368	75 143
12	7 671	8 029	9 059	18 311	43 070
14	3 347	4 019	4 958	2 286	14 610
15	262	23 799	9 589	6 774	40 424
16	3 873	3 681	3 197	14 170	24 921
20	1 659	4 315	10 199	3 821	19 994
25	1 661	942	410	2 123	5 136

1.7 Délky řezů z jednotlivých tlouštěk materiálu

Pro výběr optimální nekonvenční technologie a volbu vhodných parametrů stroje je velmi přínosné znát procentuální rozložení délek řezů dle síly materiálu. Právě náklady na jednotkovou délku řezu z konkrétní síly a typu materiálu bývají jedním z důležitých ekonomických ukazatelů. Tyto náklady se liší dle typu technologie, výrobce, či výkonu stroje a pro optimální ekonomické zhodnocení investice dopomůže právě tato podrobnější analýza.

1.7.1 Převod hmotnosti polotovarů na referenční tloušťky

V předcházející podkapitole je uvedena tabulka 1.9, ve které jsou jednotlivé polotovary odlišeny dle síly materiálu barevnými pásmy. Nyní bude tato tabulka zjednodušena a dále budou využívány takzvané referenční tloušťky materiálu. Za referenční tloušťky polotovarů jsou voleny takové, ve kterých se v daném pásmu nachází nejvyšší objem výroby. Součty hmotností polotovarů a volba referenčních tloušťek materiálu v jednotlivých letech je uvedeno v tabulce 1.10.

Tab. 1.10 Zjednodušený přehled zpracovaného materiálu dle síly plechu.

Hmotnost tabulí plechu spotřebovaných v kooperaci [kg]						
Ref. tl.	Síla [mm]	2011	2012	2013	2014	Celkem
2	1 - 2,5	289	412	1 390	917	3 008
4	3 - 4,5	3 712	4 245	8 702	12 445	29 104
6	5 - 7	30 923	21 717	42 347	44 268	139 255
10	8 - 12	21 274	32 983	54 393	63 928	172 578
15	14 - 20	9 141	35 814	27 944	27 051	99 950
25	25	1 661	942	410	2 123	5 136

1.7.2 Počty zpracovaných plechů

Na základě rozložení hmotnosti zpracovaných polotovarů v tabulce 1.0, nyní bude proveden přepočítání na počty zpracovaných plechů z uvažovaných referenčních tloušťek. Je nutné si uvědomit, že počty zpracovaných plechů jsou přesnějším ukazatelem, než pouhá hmotnost zpracovaného materiálu. Jednoduchým výpočtem (dle vztahu 1.1) je zjištěno, že při stejné hmotnosti je počet zpracovaných tabulí z tloušťky 2 mm pětikrát vyšší než počet zpracovaných tabulí o síle 10 mm. Celkový přehled počtu zpracovaných tabulí je uveden v tabulce 1.11. Při výpočtu je uvažován firmou běžně užívaný formát tabule o rozměrech 2 x 1 m.

Počty tabulí z referenčních tloušťek polotovarů vypočítáme dle vztahu (1.1).

$$N_{\text{tab}} = \frac{m_p}{\rho \cdot l \cdot s \cdot t_{\text{ref}}} \quad (1.1)$$

kde: N_{tab} [ks] - počet tabulí,
 m_p [kg] - hmotnost polotovarů,
 ρ [kg/dm³] - hustota oceli.
 l [dm] - délka tabule,
 s [dm] - šířka tabule,
 t_{ref} [dm] - referenční tloušťka tabule.

Dosazení do vztahu (1.1) znázorňuje vzorový výpočet počtu zpracovaných plechů z materiálu o síle 6 mm z roku 2011.

$$N_{\text{tab}} = \frac{m_p}{\rho \cdot l \cdot s \cdot t_{\text{ref}}} = \frac{30\,923}{7,85 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 0,06} = 328 \text{ ks}$$

Tab. 1.11 Počty tabulí z referenční tloušťky plechu zpracovaných v kooperaci.

Počty tabulí plechu spotřebovaných v kooperaci [ks]					
Ref. tl.	2011	2012	2013	2014	Celkem
2	9	13	44	29	96
4	59	68	139	198	463
6	328	231	450	470	1 478
10	136	210	346	407	1 099
15	39	152	119	115	424
25	4	2	1	5	13

Z výsledků v tabulce 1.11 je patrné, že nejvyššího počtu zpracovaných plechů je dosaženo při zpracování materiálu o síle 6 mm. Naopak se již nyní ukazuje počet zpracovaných tabulí o tloušťce 25 mm jako nepodstatný a tudíž s touto tloušťkou nebude v dalších výpočtech uvažováno.

1.7.3 Průměrná délka řezu z tabule dle tloušťky materiálu

Dalším krokem pro zjištění procentuálního rozložení délek řezů dle síly materiálu je zjištění závislosti délky řezu na tloušťce tabule. Pozorováním bylo zjištěno, že s rostoucí tloušťkou výpalku vzrůstá i velikost celé součásti. Z tohoto poznatku vyplývá, že počet součástí vypálených z jedné tabule je u slabších tabulí vyšší, čímž se zvyšuje i celková délka řezu. Pro zjištění orientační délky řezu bylo opět využito dat ze systému Vision 32, ze kterého byl vytvořen seznam nejčastěji řezaných dílců. Z těchto dílců bylo vybráno 15 zástupců ze síly materiálu spadající do pásma pro danou referenční tloušťku. Dále byl za pomoci konstrukčního programu Inventor u těchto dílců změřen obvod a stanoven počet součástí na jednu tabuli. Ukázkové hodnoty průměrného řezu nejčastěji zpracovávaných tabulí z tloušťek 4, 6 a 10 mm jsou uvedeny v tabulkách 1.12, 1.13 a 1.14. Ze získaných hodnot je patrné, že průměrná délka řezu z tabule o síle 4 mm je cca dvakrát delší než průměrná délka řezu z tabule o síle 12 mm.

Tab. 1.12 Průměrná délka řezu z tabule o tloušťce 4 mm.

4 mm	název dílu	počet [ks]	tl. mat [mm]	obvod 1 ks [mm]	počet [ks/tabule]	řez z tabule [m]
1	Deska horní vnější FV90	5896	4	208,0	612	127,3
2	Deska horní vnitřní FV90	5685	4	170,0	918	156,1
3	Deska vnitřní unašecí 16B	4874	4	162,4	800	130,0
4	Deska vnější unašecí FV40x50	4550	4	248,3	544	135,1
5	Deska vnější unašecí 20B	12460	3,5	159,6	576	91,9
6	Deska vnější ozubená 20B	8190	3,5	159,6	576	91,9
7	Mezideska ozubená 20B	6510	3,5	159,6	576	91,9
8	Deska vnější unašecí 20B	4750	3,5	159,6	576	91,9
9	Deska vnější unašecí 220B	4240	3,5	285,8	320	91,5
10	Pojistný kroužek pr.14	52820	3	163,0	1380	224,9
11	Pojistný kroužek pr.17 FV180	15800	3	179,2	1155	206,9
12	Deska vnější s ozubením 16B	7078	3	132,1	1340	177,0
13	Pojistný kroužek pr.24,5	6450	3	241,5	672	162,3
14	Deska vnější s ozubením 16B	5300	3	127,7	1660	212,0
15	Deska vnější unašecí 16B	5284	3	171,9	680	116,9
Průměrný řez z jedné tabule [m]						140,5

Tab. 1.13 Průměrná délka řezu z tabule o tloušťce 6 mm.

6 mm	název dílu	počet [ks]	tl. mat [mm]	obvod 1 ks [mm]	počet [ks/tabule]	řez z tabule [m]
1	Deska vnitřní ozubená - kalená 24B-1	19335	6	198,8	600	119,3
2	Deska vnitřní s ozubením 24B	10970	6	181,7	624	113,4
3	Deska vnitřní s ozubením 24B	10100	6	181,7	600	109,0
4	Deska vnitřní ozubená 24B	8320	6	203,0	600	121,8
5	Deska vnější unašecí 32B	7436	6	256,6	350	89,8
6	Deska vnější unašecí M112x100	6696	6	552,1	40	22,1
7	Deska vnější unašecí 28A	6200	6	276,5	308	85,2
8	Deska vnitřní ozubená 24B	5805	6	188,6	492	92,8
9	Deska vnitřní s ozubením 24B	5640	6	201,7	528	106,5
10	Deska vnější ozubená 32B	5290	6	268,2	320	85,8
11	Deska vnitřní unašecí 32B	5350	7	361,8	180	65,1
12	Deska vnitřní unašecí 32B	4820	7	265,6	340	90,3
13	Deska vnější unašecí T-76,2	9811	5	362,3	176	63,8
14	Deska vnější s ozubením 24B	9430	5	181,7	650	118,1
15	Deska vnější unašecí pravá M80x100	7759	5	567,9	126	71,6
Průměrný řez z jedné tabule [m]						90,3

Tab. 1.14 Průměrná délka řezu z tabule o tloušťce 10 mm.

10 mm	název dílu	počet [ks]	tl. mat [mm]	obvod 1 ks [mm]	počet [ks/tabule]	řez z tabule [m]
1	Deska vnitřní unašecí T-150	14155	10	678,4	72	48,8
2	Deska vnější unašecí T-150	14144	10	641,3	72	46,2
3	Deska vnitřní T-70	9522	10	343,9	168	57,8
4	Deska vnější unašecí T-70	4331	10	412,8	112	46,2
5	Deska vnější T-70	4007	10	343,9	168	57,8
6	Mezideska s ozubením 24A	3936	10	206,6	468	96,7
7	Deska vnitřní unašecí FV250x150	3400	10	573,6	68	39,0
8	Deska vnější unašecí 32B	5684	12	248,4	315	78,2
9	Deska unašecí RV-3	2690	12	723,5	39	28,2
10	Deska vnější ozubená M160x80	13210	8	350,4	238	83,4
11	Vzpěra M160	4133	8	321,3	234	75,2
12	Unašeč FV90	4120	8	179,5	612	109,9
13	Unašeč FV140	3908	8	333,1	220	73,3
14	Vzpěra FV250	3558	8	150,6	1160	174,7
15	Deska vnější unašecí FV250x150	3400	8	573,6	68	39,0
Průměrný řez z jedné tabule [m]						70,3

1.7.4 Procentuální rozložení délek řezů

Nyní bude přistoupeno k výpočtu samotného procentuálního rozložení jednotlivých řezů. Celkový počet zpracovaných tabulí v tabulce 1.11 bude podělen čtyřmi, čímž bude vypočten průměrný počet ročně zpracovaných tabulí z let 2011 až 2014 (druhý sloupec v tab. 1.15). Po dosažení průměrných délek řezu z jedné tabule (viz tab. 1.12 až 1.14), budou zjištěné hodnoty vynásobeny s průměrným počtem ročně zpracovaných tabulí, čímž je zjištěna výsledná délka řezu (čtvrtý sloupec tab. 1.15). Nakonec je vypočteno procentuální rozložení jednotlivých řezů dle tloušťky materiálu. V porovnání výsledků v tabulce 1.15 s hmotnostní tabulkou 1.10 je zřejmé, že takto získané hodnoty se značně liší. V Tab. 1.10 je z hmotnostního hlediska nejpodstatnější materiál o tloušťce 10 mm a materiálu o tloušťce 15 mm bylo zpracováno třikrát více než materiálu o tloušťce 4 mm. Výstupy z tabulky 1.15 by měly být podstatně přesnější a je z nich patrné, že hlavní produkce řezů se nachází z materiálu o tloušťce 6 mm. Naopak řezy silnější než 15 mm tvoří pouze 8 % celkové výroby a tudíž se neřadí mezi nejdůležitější řezy z hlediska optimalizace nákladů.

Tab. 1.15 Stanovení procentuálního podílu délek řezu.

Nejčastější řezy z průměrné roční produkce				
Ref. tl.	Počet tabulí [ks]	Řez z tabule [m]	Délka řezu [m]	Podíl řezů [%]
2	24,0	180,0	4 311,4	5
4	115,9	140,5	16 279,3	20
6	369,6	90,3	33 372,3	42
10	274,8	70,3	19 316,1	24
15	106,1	60,0	6 366,2	8
Celková roční délka řezu [m]			79 645,4	

Z tabulky 1.15 vyplývá, že největší podíl řezů lze na základě dat z let 2011 – 2014 očekávat z materiálů tloušťky 4, 6 a 10 mm. Naopak řezy ze slabších materiálů a řezy ze silnějších materiálů jsou procentuálně méně významné. Pro zjednodušení kalkulací pro pozdější výběrová řízení na tři vzorky, je tabulka 1.15 převedena na celkovou délku řezů z tloušťky 4, 6 a 10 mm. Z nové tabulky 1.16 je patrné, že po takové úpravě tvoří řezy z materiálu o síle 6 mm přibližně 50 % výroby.

Tab. 1.16 Stanovení procentuálního podílu délek řezu.

Průměrná roční produkce převedena na tři tloušťky materiálu			
Ref. tl.	Podíl řezů [%]	Řez z tabule [m]	Délka řezu [m]
4	23,6	140,5	18 799,7
6	48,4	90,3	38 539,1
10	28,0	70,3	22 306,6
Celková roční délka řezů [m]			79 645,4

2 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE

Za nekonvenční technologie obrábění jsou označovány takové, které na rozdíl od klasických metod třískového obrábění nevyužívají v převážné míře silového působení pro úběr materiálu. Podstatou nekonvenčních metod je využití fyzikálních, nebo fyzikálně-chemických principů k úběru materiálu bez vzniku třísek [1].

Původně byly tyto technologie vynalezeny pro řešení speciálních úloh v letectví a kosmonautice v letech 1950 až 1960, dnes však většina z těchto technologií nalézá široké uplatnění v nejrůznějších odvětvích průmyslu [2].

Vzhledem k rozboru technologičnosti součástkové základny v předchozí kapitole, bude nyní zaměřeno na literární studii nekonvenčních technologií, kterých lze pro tento typ výroby uvažovat. Budou popsány principy technologie řezání abrazivním vodním paprskem, technologie řezání plazmou a většímu rozboru bude podrobeno řezání laserem, které je předpokládánou metodou pro řešení dané problematiky. Na konci této kapitoly uvažované technologie budou porovnány dle přesnosti, kvality povrchu a samozřejmě ceny součástí.

2.1 Technologie řezání vodním paprskem

Obrábění vodním paprskem je řazeno mezi nekonvenční metody založené na mechanickém principu. Pro obrábění vodním paprskem se užívá mezinárodní zkratka (WJM) WATER JET MACHINING [4].

Princip řezání vodním paprskem

Principem je natlakovaná kapalina, která při průtoku zúženým místem (dýzou) dosahuje až čtyřnásobku rychlosti zvuku. Energie vodního paprsku je tak velká, že dokáže řezat téměř všechny známé materiály. V technické praxi má tato metoda více aplikací, jako například obrábění čistým vodním paprskem a obrábění abrazivním vodním paprskem [4].

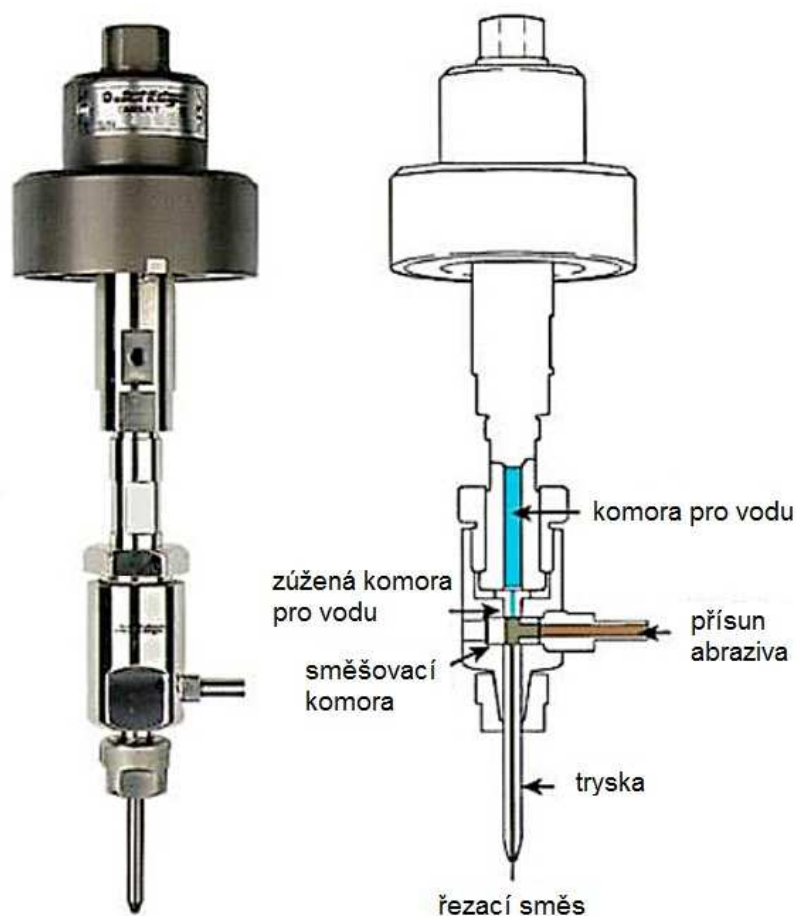
Čistý vodní paprsek

Jedná se o původní metodu, která využívá vlastností vody při vysokém tlaku. Poprvé byla tato metoda komerčně využita v první polovině 70. let minulého století na řezání vlnitého kartonu. Tato technologie se nejvíce využívá k řezání jednorázových plen, hedvábného papíru, či k výrobě interiéru automobilů [3].

Abrazivní řezání

Je založené na odebírání materiálu mechanickým účinkem dopadu úzkého abrazivního vodního proudu s vysokou rychlostí a značnou kinetickou energií na jednotku plochy (obr. 2.1). Abrazivo způsobuje stonásobné až tisícinásobné zesílení mechanického účinku oproti čistému vodnímu paprsku. Abrazivní paprsek nalézá využití v dělení tvrdých materiálů, jako jsou kovy, kámen, kompozity a

keramika. Abrazivní materiál je tvořen částicemi oxidu hlinitého, granátu, olivínu, tříděného křemičitého písku, nebo ocelovou drtí [3,4,29].



Obr. 2.1 Znázornění principu abrazivního vodního paprsku [9].

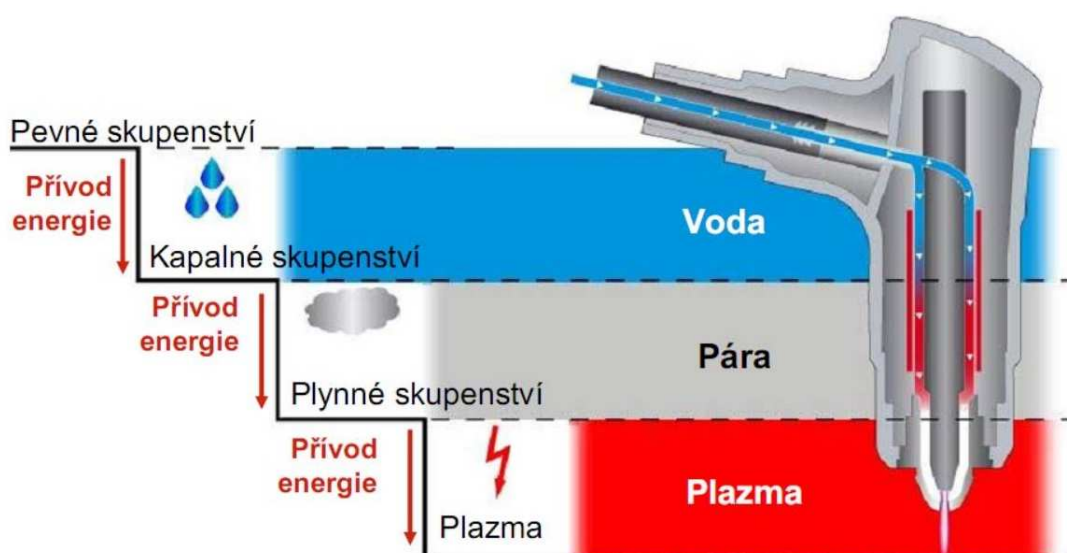
Výhody technologie vodního paprsku [2,29]:

- vysoká energetická účinnost cca 80 %,
- studený řez bez tepelně ovlivněné zóny,
- řezané hrany jsou bez mechanických deformací,
- mimořádně detailní technologie řezaných dílů s přesností až $\pm 0,025$ mm,
- bezprašný ekologický proces bez vzniku škodlivých par či plynů,
- malá produkce odpadu díky úzké řezné spáře,
- lze řezat kovové, nekovové i kompozitní materiály,
- řezání materiálu do tloušťky až 250 mm,
- jediné nastavení paprsku pro téměř všechny typy řezu,
- malé, nebo žádné otřepy

2.2 Řezání paprskem plazmy

Obrábění paprskem plazmy se řadí mezi nekonvenční metody využívající elektrotepelných principů úběru materiálu. Pro plazmové řezání se užívá mezinárodní výraz (PBM) Plasma Beam Machining, případně (PAM) Plasma Arc Machining [2].

Termín plazma byl zaveden I. Langmuierem roku 1923, na základě podobností mechanismu s krevní plazmou, kterou popsal J. E. Purkyně. S plazmatem se setkáváme každý den prostřednictvím Slunce, blesků, nebo rozsvícení zářivky. Z fyzikálního hlediska lze plazmu definovat jako čtvrté skupenství hmoty (obr. 2.2). V celém vesmíru se v tomto skupenství nachází téměř 99 % veškeré hmoty. Plazmatického stavu je možné dosáhnout zvýšením teploty, zvýšením tlaku, nebo elektrickým výbojem. V technické praxi je nejvíce využíváno právě elektrických výbojů [28].



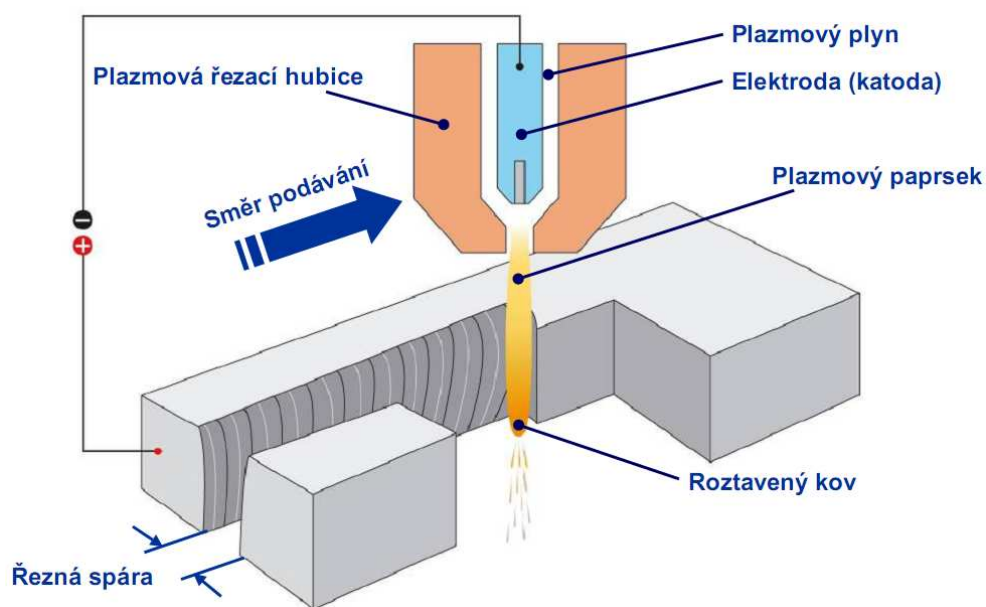
Obr. 2.2 Znáznornění jednotlivých skupenství hmoty [27].

Plazma je tedy zvláštní stav plynu, ve kterém se ionizací atomu stávají plyny vodivými. Jedná se o směs elektronů a kladných iontů, která je většinou rozložená uvnitř plynů z neutrálních částic. V ustáleném stavu je plazma jako celek elektricky neutrální. Plazma může být částečně nebo úplně ionizovaná. Teplota částečně ionizované plazmy se pohybuje v rozmezí 5 000 až 15 000 °K. Zcela ionizovaná plazma dosahuje teploty asi 100 000 °K. Plazma je tedy elektricky vodivá a podléhá účinkům elektrického a magnetického pole [3].

Princip řezání plazmou

Základ plazmového řezání spočívá v tavení řezaného materiálu za extrémně vysokých teplot, které vznikají rozkladem molekul plynu za vysokého vývinu tepla během průchodu elektrickým obloukem. Oblouk hoří mezi netavící se elektrodou (katodou) a anodou. Anodu může tvořit řezaný materiál, nebo řezná hlavice [1,28].

V paprsku dopadajícím na povrch materiálu je koncentrovaná vysoká hustota energie ($10^8 - 10^9 \text{ W.m}^{-2}$), čímž dochází k jeho natavení (obr. 2.3). Dynamika plazmového svazku zapříčiní vyfouknutí taveniny materiálu skrz řeznou spáru. Plazmový parsek je pro nestabilitu plazmy nutné chránit před působením vzdušné atmosféry. K tomu se v praxi nejčastěji využívá ochranného plynu nebo vodní clony [28].



Obr. 2.3 Znázornění procesu řezání paprskem plazmy [27].

Plyny pro plazmové řezání

Na vlastnosti plazmy mají vliv použité plyny, které se u plazmového řezání dělí podle funkce na plazmové a ochranné [3].

Plazmový plyn je přiváděn přímo do elektrického oblouku, kde je ionizován a přeměněn na proud plazmatu. Pro řezání konstrukčních ocelí se k tomuto účelu používají především kyslík (O_2), argon (Ar) a dusík (N_2) [28,3].

Ochranný plyn slouží k ochraně proudu plazmatu i řezaného materiálu před účinky okolní atmosféry. Pro řezání konstrukčních ocelí se používá vzduch, kyslík (O_2), nebo směs (O_2+N_2) a (O_2+H_2) [28].

Výhody řezání plazmou [2,30]:

- vysoká řezná rychlost,
- nižší investiční náklady na pořízení technologie,
- hospodárnější provoz u slabších materiálů než u laseru,
- možnost řezat s více hořáky najednou.

2.3 Technologie řezání laserem

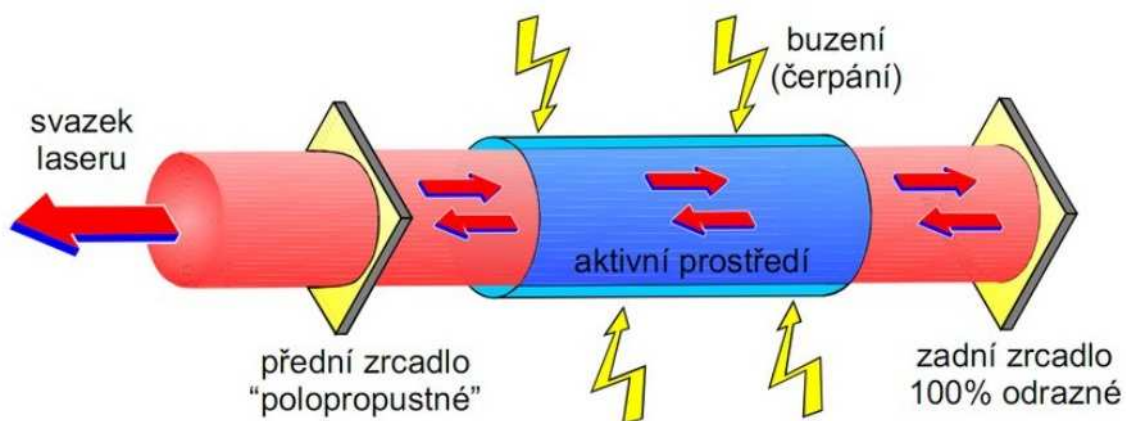
Slovo Laser je zkratkou anglických slov (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), což lze volně přeložit jako zesílení světla pomocí stimulované emise záření. V nekonvenčních metodách obrábění se laser řadí mezi metody založené na elektrotepelném principu. Řezání laserem patří mezi jednu z mnoha průmyslových aplikací laserového paprsku, mezinárodně se pro tuto metodu užívá zkratka LBM (Laser Beam Machining) [2].

Historický vývoj laseru sahá do roku 1917, ve kterém Albert Einstein jako první popsal teoretické základy pro stimulovanou emisi záření. Velikosti tohoto génia podtrhuje skutečnost, že první rubínový laser sestrojil T. H. Mainman až o mnoho let později v roce 1960 [2].

2.3.1 Fyzikální princip laseru

Dnes již existuje velké množství různých typů laserových generátorů, každý z nich se ale skládá ze tří hlavních částí: laserového aktivního prostředí, zdroje buzení a optického rezonátoru [25].

Základem laseru je aktivní prostředí, které je opticky, elektricky, nebo jiným způsobem buzeno (obr. 2.4). Buzením je do aktivního prostředí dodávána energie, která je následně pomocí stimulované emise vyzářena v podobě laserového svazku. Vyzáření paprsku je provedeno přes optický rezonátor, který je většinou tvořen odraznými zrcadly [24].

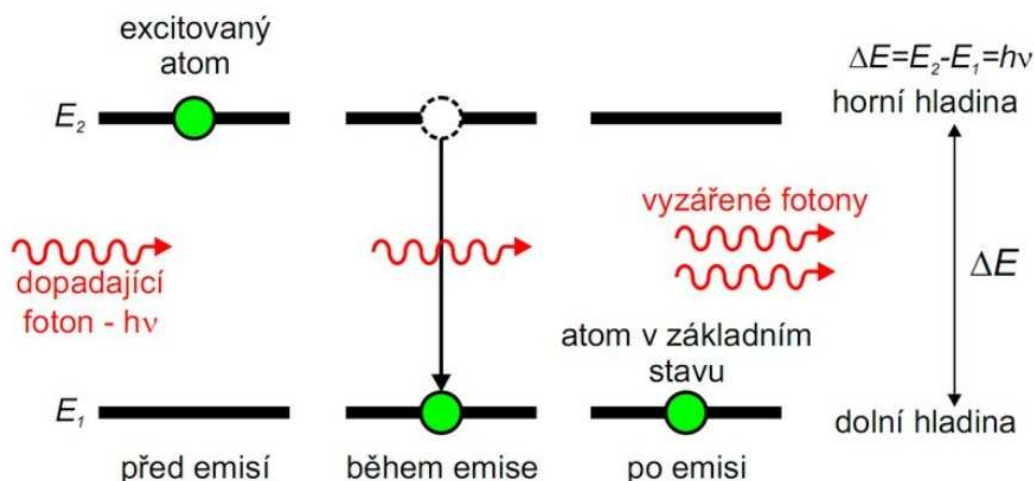


Obr. 2.4 Obecné schéma laseru [24].

Aktivní prostředí vždy obsahuje element, který se může nacházet v základním, nebo v excitovaném stavu. V základním stavu má tento element nižší energii a v excitovaném (buzeném) stavu energii vyšší. Elementem je nejčastěji atom, ale stejně to může být i vibrační stav molekuly, chemická vazba atd. Důležité je, že během přechodu z vyšší energetické hladiny do nižší tento element vyzáří foton. Tento zářivý přechod se děje naprosto samovolně, jelikož prostředí má vždy snahu se nacházet ve stavu s co nejnižší energií, kdy panuje termodynamická rovnováha. Dodávání energie, neboli buzení tento stav naruší a většina atomů

v aktivním prostředí se dostane na vyšší energetickou hladinu (inverze populace) [24].

Až nyní lze energii dodanou do aktivního prostředí přeměnit na proud fotonů neboli laserový paprsek. K tomu se využívá proces stimulované emise (obr. 2.5), který je vlastně lavinovým efektem. Foton, který dopadne na atom s vyšší energetickou hladinou E_2 , způsobí (stimuluje) jeho přechod na nižší energetickou hladinu E_1 , během kterého dojde k emisi dalšího fotonu (obr. 2.2) [24].



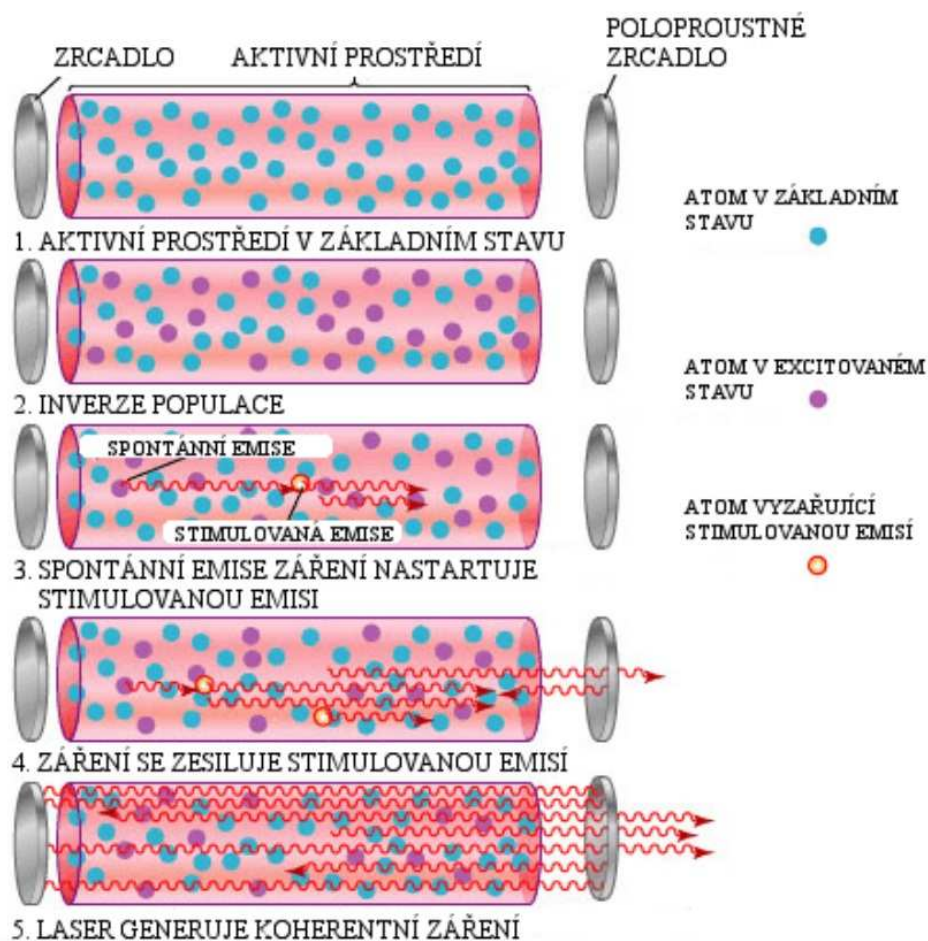
Obr. 2.5 Princip stimulované emise záření [24].

Fotony poté putují v rezonátoru mezi zrcadly, z nichž je jedno zrcadlo nepropustné a druhé polopropustné. Jak počet fotonů stoupá, vzrůstá uvnitř rezonátoru intenzita světla. Jakmile přesáhne intenzita světla určitou mez, mocný světelný impulz vyrazí z rezonátoru ven přes polopropustné zrcadlo jako laserový paprsek (viz obr. 2.6). Po vyzáření fotonů se atomy opět vrátí do základního stavu a díky buzení se celý děj opakuje [24,26].

Důležité je, že během procesu stimulované emise mají vznikající fotony stejnou energii (frekvenci), směr, polarizaci a fázi. Z toho vyplývají zvláštní vlastnosti, které se odlišují od jiných světelných zdrojů [2,24]:

- monochromaticnost – světlo má prakticky jen jednu vlnovou délku,
- koherentnost – generované fotony jsou ve fázi časové i prostorové,
- malá divergence – svazky fotonů se téměř nerozbíhají.

Právě pro své vlastnosti se stal laser přínosným v mnoha oborech. V průmyslu se především využívá možnosti zaostření paprsku do malého bodu, čímž vznikne vysoká hustota energie, která je vhodná pro opracování materiálu (řezání, svařování, kalení, gravírování, atd.) [24].



Obr. 2.6 Princip vzniku laserového paprsku [24].

2.3.2 Druhy laserů

Jak již bylo naznačeno, existuje dnes mnoho typů laserů a také typů jejich dělení. Lasery lze dělit podle typu buzení, provozního režimu, vlnové délky. Ze strojírenského hlediska je velmi důležité rozdělení laserů dle aktivního prostředí. Nyní budou vysvětleny typy laserů, které jsou výrobci laserového řezání používány [31].

CO₂ lasery

CO₂ (oxid uhličitý) je plynový laser, který ke vzniku stimulované emise záření využívá kvantově – energetických přechodů souvisejících s oscilací molekul CO₂ a dusíku (N₂) [2].

Hlavní částí těchto laserů je laserová trubice, ve které se nachází směs plynů CO₂, N₂ a hélia (He). Energie potřebná na excitaci je vytvořena prostřednictvím doutnavého výboje mezi elektrodami, na které je přivedeno vysoké napětí. V CO₂ laserech vzniká záření s vlnovou délkou 10,6 μm .

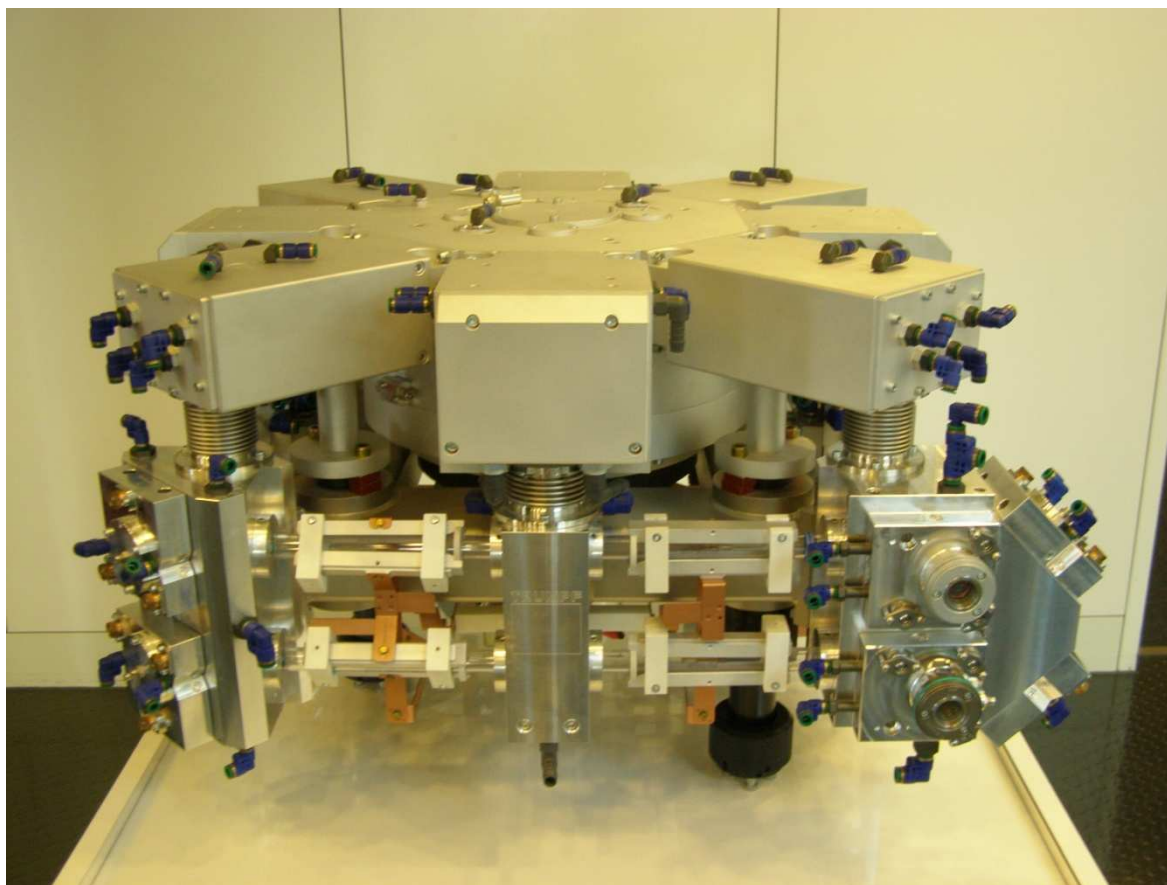
Plyn může být po průchodu trubicí vedený k regeneraci a případně být znovu použit v okruhu. Při procesu se totiž laserový plyn postupně znehodnocuje, díky částečnému rozkladu CO_2 na CO (oxid uhelnatý) a O_2 (kyslík), což vede k poklesu výkonu laseru.

CO_2 lasery lze dělit podle uspořádání a toku plynů vzhledem k ose laseru na [2]:

- axiální – plyn proudí ve směru optické osy laseru,
- průřezové – plyn proudí kolmo na směr optické osy.

Velkou nevýhodou CO_2 laserů je, že jejich záření s větší vlnovou délkou nelze vést optickým vláknem. Proto je nutné pro vedení svazku fotonů používat systém zrcadel. Optická dráha je tak složitější, je vyžadována pravidelná kalibrace a vznikají nároky na čistotu a údržbu zrcadel. Tyto rezonátory jsou vybaveny turbínou pro proudění plynu. Naopak mezi výrazné výhody patří vyšší řezná rychlost a lepší kvalita řezné hrany u tloušťek plechu nad cca 8 mm [24].

Výrobci dnes nabízí odlišné typy CO_2 rezonátorů, z nichž každý má své výhody a nevýhody. Elektrody jsou umísťovány mimo laserové trubice, snižuje se spotřeba laserových plynů a existují i typy bez laserové trubice. Tyto rezonátory jsou hermeticky uzavřené a jsou celé vyplněné laserovým plynem. Na obrázku 2.7 je rezonátor s podélným prouděním plynu a turboradiální turbínou od německé společnosti Trumpf.



Obr. 2.7 CO_2 rezonátor s podélným prouděním a radiální turbínou od společnosti Trumpf.

Vláknový laser

Vláknový, někdy též označovaný jako fiber laser patří k technologicky nejmodernějším typům pevnolátkového laseru. Aktivní prostředí v tomto laseru tvoří dlouhé optické vlákno, které je dopované yterbiem. Buzení z laserových diod je vedené přes optickou spojku do aktivního vlákna, ve kterém jsou takzvané Braggovské mřížky. Tyto mřížky jsou struktury vytvořené přímo na optickém vlákne, tudíž není potřeba systému zrcadel. Záření je z vlákna vyvedeno přes výstupní kolimátor. Schéma vláknového laseru je na obrázku 2.8 [31].

Výhodou vláknového laseru je robustnost, jednoduché provedení a modularita, která umožňuje postupné navyšování výkonu až na 80 kW. Dalšími výhodami jsou dobrá účinnost (30-35 %), dlouhá životnost (až 100 000 hodin), nízké provozní náklady a téměř nulová potřeba údržby. Známým výrobcem těchto laserů je firma IPG Photonics [31].

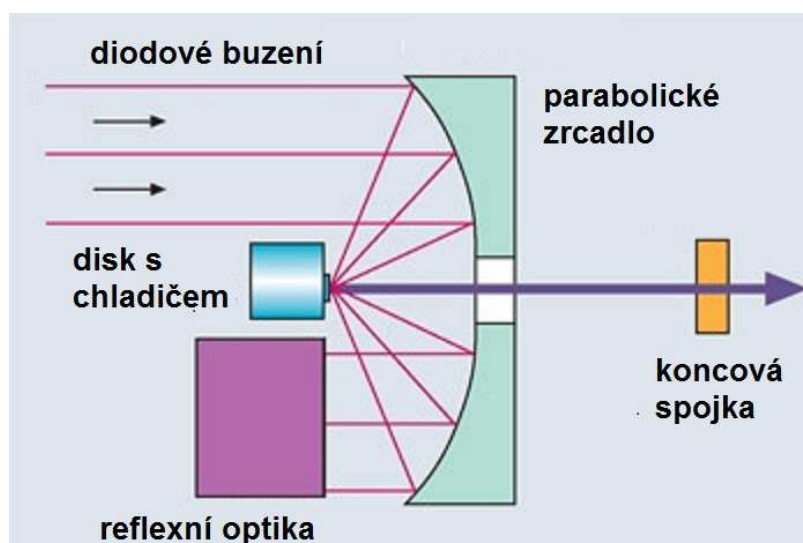


Obr. 2.8 Schéma vláknového laseru [31].

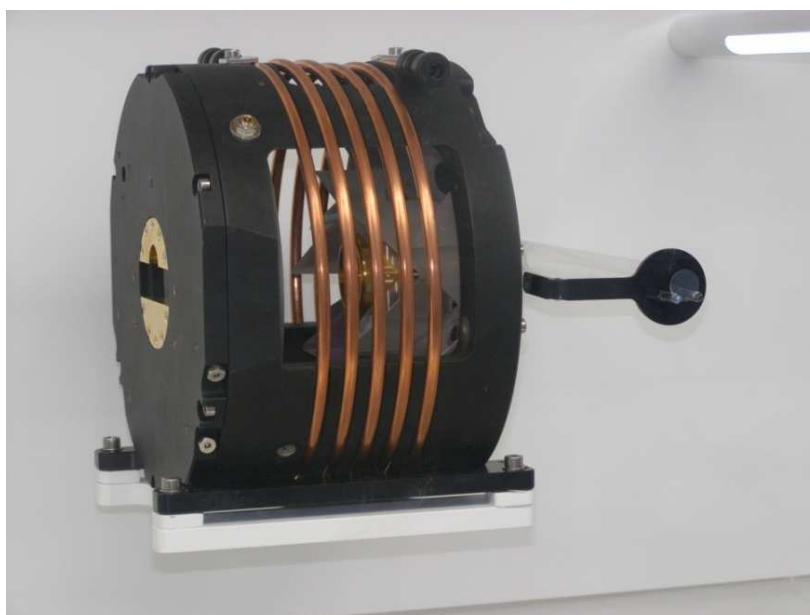
Diskový laser

Aktivní prostředí v tomto typu pevnolátkového laseru tvoří malý disk dopovaný stejně jako u vláknového laseru prvky yterbia (obr. 2.10). Výhodou diskového provedení je rovný teplotní profil po celém disku. Toho je dosaženo chlazením disku, které je prováděno přes spodní část rovnoběžně s osou paprsku. Rovný teplotní profil umožňuje dosahovat vysokých výkonů a kvalitního výstupního paprsku. Změnou velikosti plochy průřezu paprsku, lze měnit výkon při zachování konstantních vnitřních hustot energie. Použití nalézá u výkonově náročných operací jako je svařování a řezání kovů. Tento typ laseru rozvíjí především společnost Trumpf, která u nejnovější generace dosáhla účinnosti přes 30 %, což způsobuje snížení provozních nákladů [16,31,32,33].

Společnost Trumpf také často uvádí jako velkou výhodu tohoto uspořádání (obr. 2.9) hlubokou saturaci zesílení. V případě zpětného odrazu paprsku jsou tak eliminovány problémy se zničením aktivního vlákna, které hrozí u vláknových laserů [33].



Obr. 2.9 Schéma diskového laseru [32].



Obr. 2.10 Diskový laser od společnosti Trumpf (disk vpravo).

2.3.3 Druhy laserového řezání

Technologii laserového řezání lze dělit na tři základní typy řezání.

Řezání plamenem

Někdy také označované jako oxidační řezání, je standardní metoda pro řezání konstrukčních ocelí. Při řezání plamenem je použit jako řezný plyn kyslík, který je do štěrbin foukán pod tlakem až 6 barů. Probíhající oxidace má za následek uvolnění až pětinasobku laserové energie. Tento typ řezání umožňuje vysoké

řezné rychlosti a obrábění silných materiálů. Konstrukční ocel lze touto metodou řezat až do tloušťky přes 30 mm [16].

Tavné řezání

Jako řezný plyn se u tavného řezání používá dusík, nebo argon. Plyn je do místa řezu vháněn pod tlakem 2 až 20 barů. Jelikož se jedná o neinertní plyny, nereagují s roztaveným kovem v řezné spáře, ale pouze kov vyfukují směrem ven. Tato metoda se používá především pro řezání nerezové oceli, hliníku, mosazi, mědi a dalších materiálů kde je nežádoucí zoxidovaná řezná hrana (obr. 2.11). Nevýhodou je nižší řezná rychlost u silnějších materiálů, neboť energie je dodávána pouze laserovým paprskem [16].



Obr. 2.11 Srovnání kvality hrany metod řezání plamenem (nahore) a tavného řezání.

Sublimační řezání

Při sublimačním řezání je cílem materiál z místa řezu odpařovat. Při řezání vzniká minimální tavná zóna, ve které se vytváří pára, která se za vysokého tlaku vymršťuje nahoru a dolů. Argon, dusík, nebo hélium jako procesní plyny zabezpečují izolaci řezu od okolního prostředí a brání oxidaci. Pro obrábění plechů se tato metoda nevyužívá. K sublimaci materiálu je potřeba více energie než k jeho tavení, což má za následek vysoké potřebné vysoké výkony laserů a pomalé řezné rychlosti. Uplatnění nachází tam, kde jsou kladeny požadavky na obzvláště jemné řezání. Používá se například v lékařské technice, k řezání fólií nebo netavitelných materiálů [16].

Výhody řezání laserem [2,29,30]:

- kvalitní pravoúhlá řezná hrana,
- možnost tvarově složitých výpalků s ostrými úhly,
- vysoká rozměrová přesnost dílů,
- úzká řezná spára,
- oproti plazmě lepší drsnost povrchu.

2.4 Srovnání paprskových metod

V této podkapitole bude provedeno krátké srovnání tří uvažovaných paprskových metod řezání. Obdobná srovnání nekonvenčních technologií lze dnes snadno nalézt na internetových stránkách výrobců, jelikož výběr neoptimálnější technologie je jedna z nejdůležitějších otázek průmyslu.

Geometrie řezu

Jedno z důležitých kritérií je schopnost výroby tvarové rozmanitých dílů. Laser a vodní paprsek jsou technologie, které jsou schopné vyrábět geometricky složité díly daleko za hranicí potřeby společnosti Řetězy Vamberk (obr. 2.12). Řezání plazmou však přináší tvarová omezení související se širší řeznou spárou o velikosti cca 1,5 až 4 mm dle tloušťky materiálu. Pro plazmu jsou komplikací malé zaoblení řezné hrany, úzké drážky a výroba děr o malém průměru do silnějších polotovárů. Další výhodou laseru proti porovnávaným technologiím je pravoúhlost řezné hrany [2,3].



Obr. 2.12 Názorná ukázka tvarových možností laserového řezání od firmy Mitsubishi. Portrét ženy vypálený z tenkého plechu umístěný na černém podkladu.

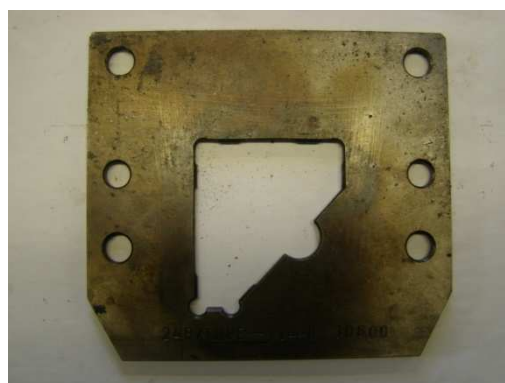
Rozměrová přesnost

Jak již bylo uvedeno v rozboru součástkové základny, nároky na rozměrovou přesnost obvodu dílců jsou menší, než nároky na přesnost otvorů. Při standardní výrobě, je však díky technologii stříhání tvarem dodržena vysoká přesnost dílů v rozmezí $\pm 0,05$ mm. Tato tolerance je dána pouze velikostí otupení střížného nástroje. Případné rozměrové odchylky přesahující hodnoty $\pm 0,1$ mm by byly výraznou komplikací pro následné operace, kdy jsou díly zakládány do děrovacích, ohýbacích a svařovacích přípravků. Velikost tohoto tolerančního pole

bezpečně vyhovuje technologii vodního paprsku a technologii laseru (obr. 2.13). Řezání paprskem plazmy je z tohoto hlediska nevyhovující. Dva typy zakládání polotovarů do děrovadel jsou na obrázcích 2.14 [29,30].



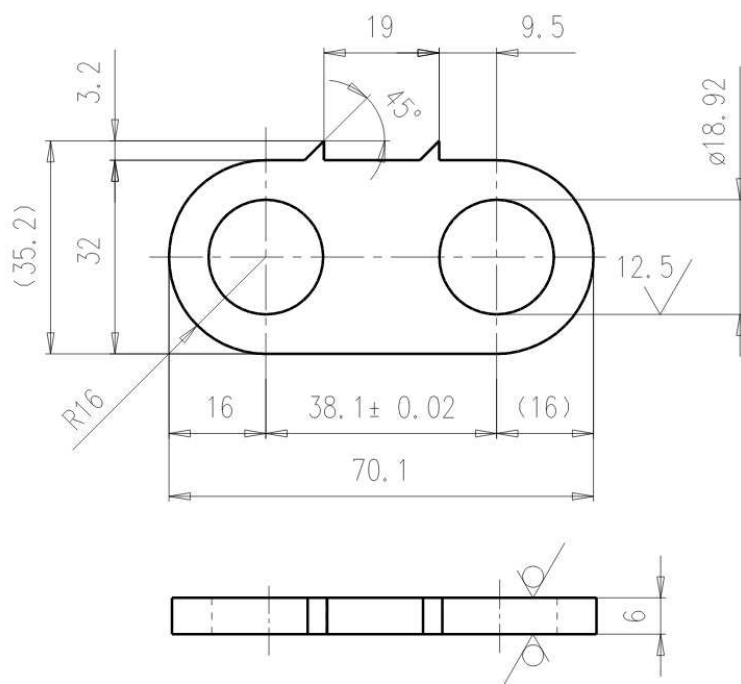
Obr. 2.13 Miniaturní výpalek jízdního kola z plechu tloušťky 3 mm (Bystronic).



Obr. 2.14 Princip zakládání desek na dorazy při děrování (vlevo). Tvarová maska pro zakládání menších, nebo tvarově složitějších dílů (vpravo).

Cena řezu

Velmi důležité kritérium je cena za metr řezu. V tomto směru je nejnehospodárnější technologií řezání plazmou, které je však z výše uvedených důvodů nevyhovující. Technologií řezání abrazivním vodním paprskem se Řetězy Vamberk zabývaly již dříve a právě cena řezu násobně převyšuje cenu řezání laserem. Důvodem jsou vysoké variabilní náklady plynoucí z malé řezné rychlosti. Ukázkový příklad kalkulace výsledné ceny dílu (obr. 2.15) řezaného abrazivním vodním paprskem je uveden v tabulce 2.2.



Obr. 2.15 Rozměry vnitřní desky s ozubením.

Vyhodnocení

Z výše uvedených poznatků vyplývá, že technologie řezání laserem je pro potřeby společnosti optimálním řešením, což potvrzuje bohatá kooperace této technologie. Největší nevýhodou laseru je výše kapitálové investice, která bude také posouzena v této práci. Jednoduché porovnání posuzovaných technologií potvrzuje i jednoduchá tabulka 2.1 společnosti PLAZMA CZ s r.o.

Tab. 2.1 Porovnávací tabulka vhodnosti paprskových technologií dle požadavku [30].

Srovnání technologií: Laser - Vodní paprsek - Plazma Možnosti využití způsobu dělení při hodnocení kvality, produktivity a hospodárnosti (1 = nejlepší způsob, 4 = nevhodný způsob)				
Požadavek	Tolerance	Laser	Vodní paprsek	Plazma
Konstrukční ocel < 5 mm	do $\pm 0,5$ mm	2	4	1
Konstrukční ocel < 5 mm	do $\pm 0,1$ mm	1	2	2
Konstrukční ocel 5 - 20 mm	do $\pm 0,5$ mm	3	4	1
Konstrukční ocel 5 - 15 mm	do $\pm 0,2$ mm	1	3	1
Konstrukční ocel 15 - 25 mm	do $\pm 0,5$ mm	3	3	1

Tab. 2.2 Kalkulace nákladů technologie řezání vodním paprskem.

1 řezací hlava, DWJ

Pozice	Výkres	Material	Pracovní tlak (bar)	Kvalita (%)	Čas řezání (min-s)	Náklady na kus (EUR)
2	Deska vnitřní s ozubením 15603502	tl. 6 mm, ocel Ck 45	3800	Q1 = 20% (velmi vysoká)	0:02:32	1,64 €
				Q2 = 40% (vysoká)	0:01:34	1,01 €
				Q3 = 60% (střední)	0:01:16	0,82 €
2	Deska vnitřní s ozubením 15603502	tl. 6 mm, ocel Ck 45	4150	Q1 = 20% (velmi vysoká)	0:02:09	1,52 €
				Q2 = 40% (vysoká)	0:01:21	0,96 €
				Q3 = 60% (střední)	0:01:06	0,78 €

3800 bar	30 HP	"13/40"	4150 bar	50 HP	"14/40"
Abrázivo g/min	540		Abrázivo g/min	570,00	
Voda v l/min	3,10		Voda v l/min	3,80	
Využití časového fondu stroje	80%		Využití časového fondu stroje	80%	
Odepisování stroje (roky)	5		Odepisování stroje (roky)	5	
Počet pracovních hodin stroje ("časový fond") (h/rok)	2 000		Počet pracovních hodin stroje ("časový fond") (h/rok)	2 000	
Cena investice	165 000 €		Cena investice	175 000 €	
Provozní náklady v €/h	17,80 €		Provozní náklady v €/h	21,30 €	
Náklady obsluhy v €/h	10,00 €		Náklady obsluhy v €/h	10,00 €	
Variabilní náklady v €/h	22,24 €		Variabilní náklady v €/h	25,04 €	
Fixní náklady v €/h	16,50 €		Fixní náklady v €/h	17,50 €	
Celkové náklady v €/h	38,74 €		Celkové náklady v €/h	42,54 €	

Deska vnitřní s ozubením 15603502	Délka řezu	Celková délka dráhy nástroje
	318.34 mm	386.29 mm

3 NÁVRH APLIKACE LASERU

Na základě kritérií v předchozí kapitole lze přistoupit k výběrovému řízení, které je jednou z nejdůležitějších částí tohoto projektu. Na dnešním trhu se nalézají několik výrobců strojů na laserové řezání, mezi nimiž je velmi složité se zorientovat. Právě pro lepší přehled v dané problematice uspořádala společnost několik kol výběrového řízení, včetně návštěv výrobních závodů a testů. Díky tomu bylo dosaženo lepšího přehledu o dotýcných firmách i o jimi nabízených produktech.

3.1 Zadání poptávky na technologii řezání laserem

V prvním kole výběrového řízení společnost oslovila více obchodních zástupců z řad technologie laserového řezání. Všem dotázaným byla zadána shodná poptávka, která obsahovala níže uvedené body a požadavky.

Specifikace výroby:

- spotřeba zpracovaného materiálu v tunách,
- očekávaný nárůst spotřeby,
- rozměry standardního polotovaru,
- průměrnou velikost série,
- jakosti řezaných materiálů dle spotřeby v kg,
- procentuální rozložení délek řezu.

Požadavky na cenové specifikace:

- varianty strojů pro řezy plechů o síle 8, 12 a 16 mm, vždy s dvojicí stolů a odsáváním pracovního prostoru s filtrací,
- kompletní technická a rozměrová specifikace zařízení,
- požadavky na instalaci a bezpečný provoz, zejména s ohledem na okolní vibrace,
- požadavky na odsávání a manipulační prostor,
- klasifikace, způsob a likvidace odpadů, plynů a vliv zařízení na okolní prostředí,
- specifikace na připojení stroje (elektrický příkon, tlak vzduchu),
- přesná specifikace operačního a CNC systému,
- popis programování a způsob optimalizace rozložení dílců,
- seznam spotřebního materiálu a běžných náhradních dílů, včetně aktuálních cen,
- požadavky na složení a čistotu používaných plynů,

- cenový přehled nákladů na provoz a údržbu zařízení pro uvažovanou životnost 30 000 hodin,
- termín dodání, cenovou specifikaci zařízení s rozpadem na případné opce, platební podmínky a podmínky předání stroje,
- záruční podmínky, rychlost servisního zásahu a pozáruční servis včetně cen, umístění hlavního skladu náhradních dílů a spotřebního materiálu, počet servisních techniků a umístění servisu,
- zaškolení obsluhy v trvání minimálně 3 pracovních dnů,
- referenční listina,
- stroj musí odpovídat bezpečnostním a hygienickým normám v ČR a EU,
- zpracování studií na 5 dodaných kontur včetně tloušťky materiálu a jakosti.

Požadavky na časové studie:

- čas pro přípravu technologie (tvorba programu a nestingu),
- čas přípravy stroje (volba a úprava programu, kontrola pozice založené tabule),
- čas vpichu a řezu, včetně řezné rychlosti,
- čas na zpracování série 250 ks a čas na zpracování celé tabule,
- počet dílců na jednu tabuli plechu o formátu 2 x 1 m,
- použité plyny a jejich spotřebu (včetně vzduchu),
- spotřebu elektrické energie,
- náklady na spotřební materiál vzhledem k zadaným dílům,
- další případné položky potřebné k výpočtu celkové ceny řezu mimo mzdových a skladovacích nákladů.

3.2 Analýza nabídek v úvodním kole výběrového řízení

Na základě zadání došlo do prvního kola výběrového řízení 22 nabídek na nejrůznější stroje od devíti firem. Zajímavostí je, že i přes zadanou specifikaci výroby některé firmy od začátku upřednostňovaly stroje s rezonátorem CO₂ a jiné naopak označily za vhodné lasery pevnolátkové. Tato situace vznikla i přesto, že většina firem disponuje lasery s oběma typy rezonátorů.

Pro prostudování nabídek a specifikací jednotlivých strojů si vedení společnosti Řetězy Vamberk určilo níže uvedená kritéria, dle kterých do dalších jednání postoupilo 10 strojů.

3.2.1 Cena zařízení

Cena stroje je důležité kritérium, které zajímá každého zákazníka, byť k povaze výrobního zařízení se nejedná o kritérium zdaleka nejdůležitější. Finanční rozpětí došlých nabídek se ve výši potřebné investice pohybovalo v rozmezí 280 až 700 tisíc Euro. Společností Řetězy Vamberk byl stanoven finanční limit, výrazně nepřekročit hranici investice přes půl milionu Euro, na základě čehož byly vyřazeny čtyři nabídky. Vyřazen byl například i jeden z kvalitních strojů (obr. 3.1) společnosti Amada, který však převyšoval výši plánované investice.



Obr. 3.1 Vlákenný 4 kW laser FOL 3015 AJ od společnosti Amada [23].

3.2.2 Spolehlivost výrobce

Určit dopředu kvalitu technického provedení jednotlivých strojů je velmi obtížné. Toto kritérium je ale zvláště důležité, neboť poruchy u zařízení tohoto charakteru způsobují společně výrazné problémy související s narušením výrobního toku a nezměrné finanční ztráty. Právě z těchto důvodů byl kladen důraz na dostatečné renomé výrobců těchto zařízení a rychlost spolehlivého servisu v případě poruchy.

Pro tyto důvody byly z dalšího jednání vyloučeny tři stroje od výrobce z Číny, stroj z Turecka a také jeden stroj z České republiky, který neměl ve své technické specifikaci odsávání doplněné o filtraci. Lze potvrdit, že oproti předchozímu kritériu, byli v tomto bodě vyřazeni levnější výrobci.

3.2.3 Vybavení stroje

Většina obchodních zástupců zaslala na základě vstupních požadavků více variant. Společnost Trumpf má například ve své nabídce stroje rozděleny do více sérií, které jsou číselně odstupňovány dle své výbavy. Právě od této společnosti byly po prostudování technické specifikace vyřazeny dva stroje nejnižší série 1000, které neobsahovaly automatický paletový výměník a další přednosti oproti vyšší sérii 3000. Na obrázku 3.2 je jeden z dvojice vyřazených strojů TruLaser 1030 s vysunovatelnou paletou. Toto provedení zvyšuje oproti automatickému výměníku neproduktivní časy a stroj je proto vhodný především pro zákazníky s malým provozním vytížením a omezeným rozpočtem [16].



Obr. 3.2 TruLaser od společnosti Trumpf z nejnižší produktové série je díky nižším investičním nákladům vhodným řešením pro zákazníky s omezeným rozpočtem [16].

3.2.4 Kvalita zpracování nabídky

Jako poměrně velký problém, se pro mnohé obchodní zástupce ukázalo zpracování veškerých náležitostí v možná až příliš podrobně zadané poptávce na technologii řezání. Většina nabídek nebyla zcela úplná a některé z požadovaných informací musely být řešeny dodatečně. V jednom případě však bylo strojní zařízení vyřazeno pro naprosto nevyhovující zpracování nabídky absentující většinu požadovaných údajů, což u takto vysoké investice nemohlo být společností akceptováno pro pokračování v dalším jednání.

3.3 Představení postupujících výrobců

Výrobce nabízející technologii laserového řezání lze dělit na dvě základní skupiny. První sortou jsou velice silní hráči na trhu, kteří mají dostatečnou historii, zkušenosti a renomé. Na druhé straně jsou výrobci, kteří stroj skládají převážně z nakupovaných komponentů a zákazníka lákají především na nižší cenu celého zařízení a také například na větší možnosti konstrukčních úprav stroje dle přání konkrétního klienta. V této podkapitole budou představeni výrobci, kteří na základě došlých nabídek postoupili přes výše uvedená kritéria do dalších jednání.

3.3.1 Microstep

Firma MicroStep, spol. s r.o. je výrobcem a dodavatelem strojů ze Slovenska. Ve svém výrobním programu tato společnost nabízí CNC stroje na dělení vodním paprskem, plazmou, autogenem, laserem a vysokootáčkovým vřetenem. Současně s mechanickou částí strojů vyvíjí a dodává také pokročilé řídicí systémy pro obráběcí stroje a vlastní CAM software pro konkrétní obráběcí aplikace [17].

Prostřednictvím sítě dceřiných společností a autorizovaných prodejců má nyní společnost MicroStep zastoupení v 48 zemích světa, z čehož 95% podílu produkce je určené k exportu. Stroje na řezání se nalézají jak na Slovensku, tak téměř ve všech Evropských zemích, v USA, v Jihoafrické republice, Brazílii, na Blízkém východě, v Egyptě, Indii, Číně, Vietnamu, či Jižní Koreji. Největších úspěchů firma dosahuje v oblasti plazmového řezání, ve kterém se řadí k největším světovým výrobcům [17].

Společnost MicroStep svým zákazníkům nabízí stroje MSF, které jsou vybaveny vláknovým laserem, nebo jsou stroje kombinací vláknového laseru a plazmy. Stroje jsou vybaveny rezonátory od firmy IPG o maximálním výkonu až 6 kW dle druhu a tloušťce zpracovaného materiálu. Rozměry pracovní plochy strojů jsou přizpůsobené přání zákazníka a pohybují se od formátu tabule 2 x 1 metr až po formát 6 x 3 metry. Příklad stroje typu MSF doplněného o zařízení na řezání trubek a profilů je zobrazen na obrázku 3.3 [18].

Výroba laserů je realizována v části bývalých závodů města Partyzánske, které založil český podnikatel Jan Antonín Baťa před druhou světovou válkou. Zástupci firmy Řetězy Vamberk si mohli výrobu strojů v bývalé obuvnické továrně prohlédnout při jedné ze svých pracovních cest.



Obr. 3.3 Varianta laseru typu MSF doplněného o zařízení na řezání trubek a profilů [18].

3.3.2 Bystronic

Společnost Bystronic se řadí mezi přední výrobce a dodavatele systémů na zpracování plechů. Centrální pobočka včetně hlavního vývojového a výrobního sídla se nalézá ve Švýcarsku ve městě Niederönz. Další dvě vývojová a výrobní centra leží v Gotha (Německo) a v Tchien-ťin (Čína). Bystronic je aktivní prostřednictvím vlastního obchodního a servisního zázemí ve zhruba 30 zemích světa na třech kontinentech, v dalších mnoha zemích má společnost sjednáno své zastoupení. V roce 1994 se Bystronic stala součástí koncernu Conzzeta, který je švýcarským průmyslovým holdingem zaměřený především v oboru stavby strojů a zařízení. Mezi produkty společnosti se nalézají vedle laserového řezání také technologie řezání vodním paprskem, ohraňovací lisy a automatizační systémy [19].

Výroba a vývoj laserů jsou situovány společně s technologií vodního paprsku v hlavním firemním sídle v Niederönzu. V areálu společnosti se nachází vedle výrobních prostor také pěkné předváděcí centrum, které je vyfocené na obr. 3.4. Klíčové komponenty a součásti systémů jsou pro svou důležitost vyvíjeny buď přímo společností Bystronic, nebo ve spolupráci s pečlivě vybranými partnery. Důkazem inovativního přístupu společnosti je informace, že každý desátý zaměstnanec Bystronicu pracuje na vývoji výrobků a v servisu [19].

I do Niederönzu mířila jedna z poznávacích služebních cest. Bylo zjištěno, že Bystronic vyrábí cca 700 laserů ročně (500 v Evropě a 200 v Číně) a zaměstnává okolo 1500 zaměstnanců. Podíl prodeje vláknových laserů oproti CO₂ se v roce 2015 očekává přibližně 75%. V České republice má společnost Bystronic asi 10 zaměstnanců. Stejně jako v případě společnosti MicroStep jsou rezonátory vláknových laserů nakupovány od společnosti IPG.



Obr. 3.4 Hlavní sídlo společnosti Bystronic ve švýcarském městě Niederönz [19].

3.3.3 Trumpf

Německá mezinárodní rodinná společnost Trumpf je zaměřena na aplikaci špičkových technologií v oblasti výroby a lékařské techniky. Zákazníkům vedle inovativních výrobků nabízí také řešení v problematice zpracování plechu, využití laserů ve výrobních procesech, v elektronice či ve vybavení nemocnic [16].

Ve společnosti pracuje aktuálně po celém světě cca 10 000 zaměstnanců, z čehož 1 500 osob pracuje ve vývoji, 3 000 ve výrobě a přes 2 000 v technické podpoře. Přibližně 56 % zaměstnanců pracuje v Německu, přičemž hlavní sídlo mateřské společnosti se nachází v Ditzingenu. Celý holding dosáhl v minulém roce impozantního obrátu 2,58 miliardy Euro, z čehož oblast laserové a elektronové techniky tvořila podíl 26 % [16].

Ve strojírenském průmyslu se společnost vedle laserového řezání zaměřuje také na výrobu vysekávacích zařízení, ohraňovacích lisů a regálových zakladačů. Mimo jiné nabízí také prostřihovače, nůžky, odjehlovačky, úkosovačky, lemovací přístroje a další typy ručního nářadí pro mobilní zpracování plechu [16].

Na trhu laserového řezání patří Trumpf mezi nejsilnější hráče s produkcí několika tisíc laserů ročně. Hlavní výroba laserů se nachází v Ditzingenu (obr. 3.5), kde v monumentálním a moderně zbudovaném areálu probíhá i výroba rezonátorů.

V dceřiných společnostech Trumpf ČR nyní pracuje asi 65 zaměstnanců. Ročně je od tohoto výrobce prodáno v Čechách asi 60 laserů, z čehož přibližně polovinu tvoří obnova zastaralých strojů. Díky těmto číslům u nás nyní Trumpf ovládá přibližně dvě třetiny trhu. Počty prodeje pevnolátkových a CO₂ laserů se v roce 2015 očekávají přibližně stejné.



Obr. 3.5 Areál výrobního závodu a sídlo společnosti Trumpf v německém Ditzingenu.

3.3.4 Mitsubishi Electric

Mitsubishi Corporation je největší firmou v Japonsku, která vedle průmyslu ovládá například i banku v Tokiu. Společnost Mitsubishi je rozdělena na více průmyslových divizí: výrobu průmyslových komponentů, počítačů, monitorů, lodí, automobilů, dílů pro automobilový průmysl, satelitů, laserových strojů a dalších menších i větších elektronických součástí. V současnosti Mitsubishi Corporation zaměstnává okolo 120 tisíc zaměstnanců.

Mitsubishi má ve svém výrobním programu řadu laserových řezacích center, které jsou konstruována a vyvíjena především dle potřeb výrobních závodů. V současné době bylo po celém světě prodáno přes 12 000 laserů [20].

Centrála Mitsubishi Electric se nachází v hlavním městě Japonska v Tokiu, které je jako metropole čítající 37 milionu obyvatel největším městem světa. Výroba laserů se ale nachází v Nagoji. Společnost si rezonátory a další důležité části stroje vyrábí sama. Rezonátory jsou vyráběny v laboratorních podmínkách, do kterých je možný vstup pouze v ochranném obleku přes podtlakovou komoru. I společností Mitsubishi byla nabídnuta prohlídka laserových center přímo ve výrobě, což přineslo krásnou, obohacující a samozřejmě nejdelší pracovní cestu. Jeden z mála snímků, které bylo možné pořídit na půdě výrobního závodu Mitsubishi je na obrázku 3.6.



Obr. 3.6 Fotografie z výrobního závodu Mitsubishi v Nagoji se zástupcem pro Evropu.

I přesto, že je společnost Mitsubishi celosvětově velmi silnou značkou, na evropském trhu je mezi lasery spíše nováčkem. Zastoupení v Evropě vzniklo až v roce 2011 a od té doby zde bylo nainstalováno cca 100 strojů ve Velké Británii, Turecku, Izraeli, Rusku, Polsku, Itálii a v Čechách. V příštích letech společnost očekává v Evropě výrazný nárůst prodeje těchto zařízení. Přímě v České republice se nyní nachází dle informace obchodních zástupců společnosti 5 strojů.

3.3.5 Amada

Amada s více než 7 600 zaměstnanci a obratem cca 2 miliardy Euro patří mezi největší světové výrobce obráběcích strojů. Ve výrobním programu této japonské společnosti se nalézá strojní vybavení pro technologie broušení, řezání, frézování, ohýbání, lisování, svařování, děrování, stříhání a samozřejmě také řezání laserem [21,22].

V oblasti laserového řezání patří Amada mezi velice silné hráče. Celosvětově se řadí společně s firmou Trumpf mezi leadery, z nichž každý ovládá přibližně 30 % trhu. Amada v CO₂ laserech používá rezonátory od japonské společnosti Fanuc, zdroje vláknových laserů si naopak vyrábí sama. Amada je jedinou společností, ve které neproběhla prohlídka výrobního procesu laserů. Potencionální zákazníci z Evropy tato společnost přivítá v nádherném školicím a předváděcím centru v německém Haanu. Hlavní předváděcí budova (obr. 3.7) vítá úklonem zákazníky, který je charakteristickým znakem u japonského pozdravu.



Obr. 3.7 Předváděcí a školicí středisko v Haanu [22].

V Evropě Amada zaměstnává cca 800 zaměstnanců. V České republice je Amada zastoupena firmou STEMA-TECH, která zde instaluje každoročně asi 15 laserů.

3.4 Základní porovnání strojů

V této části bude probrán základní přehled nabídnutých strojů. Literární studie rozdílů mezi jednotlivými typy rezonátorů je uvedena v teoretické části. Právě typ rezonátoru a jeho výkon má výrazný vliv na cenu celého zařízení. Přehled nabídnutých strojů dle těchto parametrů je uveden v tabulce 3.1. Cena strojů není

záměrně přesně vyčíslena pro zachování důvěrnosti obchodních nabídek. Zároveň lze předpokládat, že někteří obchodní zástupci při finálních vyjednáváních cenu upraví.

Tab. 3.1 Přehled nabídek strojů dle typu rezonátoru a ceny.

Výrobce	Model	Rezonátor	Výkon [kW]	Cena stroje [€]
Mitsubishi Electric	ML 3015 eX-45CF-R	CO ₂	2,7	400 - 450 tis
	ML 3015 eX-S-32XP		4,5	300 - 350 tis
Microstep	MSF 1001.20 L	Vláknový	2	250 - 300 tis
	MSF 1001.20 L		3	300 - 350 tis
Trumpf	TruLaser 3030 (L20)	CO ₂	3,2	500 - 550 tis
	TruLaser 3030 (L49)	Diskový	3	500 - 550 tis
Amada	LCG-3015	CO ₂	3,5	350 - 400 tis
	FO-3015 NT I		4	350 - 400 tis
Bystronic	BySprint Fiber 3015	Vláknový	2	450 - 500 tis
	BySprint Fiber 3015		3	500 - 550 tis

Z rozboru součástkové základny vyplynulo, že nejpočetnější jsou řezy z tloušťek plechu 4, 6 a 10 mm. V tabulce 3.2 jsou uvedeny časy řezů dle časových studií od výrobců, u tří součástí, které byly zadány v poptávce. Všechny časy jsou včetně přejezdů a výkresy součástí jsou přílohou této práce. Pro zachování důvěrnosti obchodních nabídek jsou stroje označeny písmeny abecedy a pořadí strojů neodpovídá pořadí v tabulce 3.1.

Tab. 3.2 Časy řezů dle výrobců.

Časy řezu jednotlivých strojů dle kalkulací [s]			
Stroj	Vzorek 5 tl. 4 mm	Vzorek 3 tl. 6 mm	Vzorek 2 tl. 10 mm
A	4,02	9,45	34,86
B	4,02	11,46	24,85
C	3,93	11,68	37,64
D	3,93	9,63	26,83
E	3,83	8,51	22,64
F	3,23	8,07	21,77
G	5,52	13,41	33,43
H	5,13	9,12	20,06
I	4,00	10,00	20,00
J	5,04	8,50	18,5

3.5 Vytíženost porovnávaných strojů

V přesné specifikaci poptávky na technologii řezání laserem byl uveden také očekávaný nárůst výroby. Představa společnosti je provozovat laser ve dvousměnném provozu s očekávanou efektivitou výroby 60 %. Do neproduktivních časů jsou počítány především pracovní přestávky, odlaďování programů, výměna palet a údržba stroje. Nyní bude provedeno porovnání nabídnutých strojů z hlediska produktivity vztažené k časovým studiím tří vzorků v tabulce 3.2.

V závěru rozboru součástkové základny byla zpracována tabulka 1.16, ve které je průměrná roční výroba převedena na délky řezů ze tří tloušťek materiálu. Pro zachování správného poměru řezů budou nyní tyto délky přepočítány na počty kusů z tabulky 3.2. Obvody vzorků byly změřeny v konstrukčním programu Cadkey 98.

Počty vzorků (tab. 3.3) z průměrné roční produkce vypočteny dle vztahu (3.1).

$$N_{Rv} = \frac{L_r \cdot 1000}{O_v} \quad (3.1)$$

kde: N_{Rv} [ks] - počet vzorků z průměrné roční produkce,
 L_r [m] - roční délka řezu,
 O_v [mm] - obvod vzorku.

Tab. 3.3 Teoretický počet vzorků nařezaných z průměrné roční produkce.

Počet vzorků z průměrné roční produkce				
Tl. mat. [mm]	Roční délka řezu [m]	Součást	Obvod [mm]	Ks/rok
4	18 799,7	Vzorek 5	163,0	115 338
6	38 539,1	Vzorek 3	352,2	109 431
10	22 306,6	Vzorek 2	579,8	38 470

Po zjištění teoretického počtu vzorků z průměrné roční produkce, lze nyní snadno dopočítat čas, který je potřebný ke zpracování těchto vzorků jednotlivými stroji.

Potřebný čas jednotlivých strojů, k vyřezání vzorků z průměrné roční produkce je spočten ze vztahu (3.2) a doplněn do tabulky 3.4.

$$t_{Rv} = \frac{N_{Rv} \cdot t_v}{3600} \quad (3.2)$$

kde: t_{Rv} [hod] - potřebný čas k vyříznutí vzorků z roční produkce,
 t_v [s] - čas výroby jednoho vzorku dle časové studie.

Tab. 3.4 Čas potřebný ke zpracování vzorků z průměrné roční produkce.

Čas zpracování ročního počtu vzorků jednotlivými stroji [hod]				
Stroj	Vzorek 5 tl. 4 mm	Vzorek 3 tl. 6 mm	Vzorek 2 tl. 10 mm	Celkový „čistý“ čas
A	128,8	348,4	372,5	849,7
B	128,8	287,3	265,5	681,6
C	125,9	355,0	402,2	883,2
D	125,9	292,8	286,7	705,4
E	122,7	258,7	241,9	623,3
F	103,5	245,3	232,6	581,4
G	176,9	407,6	357,2	941,7
H	164,4	277,2	214,4	655,9
I	128,2	304,0	213,7	645,9
J	161,5	258,4	197,7	617,5

Po zjištění celkového času již lze přistoupit k vyhodnocení produktivity, respektive vytíženosti strojů průměrnou produkcí z let 2011 až 2014 při dvousměnném provozu a efektivitě výroby 60 %. Pro dvousměnný provoz je uvažováno ročně 4 000 hodin. Data v Tab. 3.5 jsou spočtena dle vztahu (3.3).

$$G_{pr} = \frac{t_{Rc}}{4000 \cdot \mu} \quad (3.3)$$

kde: G_{pr} [%] - vytížení stroje ve dvousměnném provozu,
 μ [%] - efektivita výroby,
 t_{Rc} [hod] - celkový roční čas.

Tab. 3.5 Vytíženost strojů ve dvousměnném provozu průměrnou výrobou.

Vytíženost strojů ve dvousměnném provozu průměrnou roční výrobou			
Stroj	Celkový čas	Efektivita 60 %	Vytížení stroje [%]
A	849,7	1416,1	35,40
B	681,6	1136,0	28,40
C	883,2	1472,0	36,80
D	705,4	1175,7	29,39
E	623,3	1038,9	25,97
F	581,4	969,0	24,23
G	941,7	1569,5	39,24
H	655,9	1093,2	27,33
I	645,9	1076,4	26,91
J	617,5	1029,2	25,73

Ze spočítaných vytížení strojů v tabulce 3.5 je patrné, že vytížení jednotlivých zařízení nejsou ani při zohlednění efektivity výroby 60 % vysoká. Vzhledem k očekávanému nárůstu výroby je ale tento ukazatel velmi důležitý. Pro vyšší vytížení a tím nižší produktivitu jsou proto z dalších jednání vyřazeny stroje pod písmeny A, C a G.

3.6 Produktivita strojů

Jak již bylo řečeno, představa společnosti je provozovat stroj ve dvousměnném provozu. Nyní bude spočteno, kolik vzorových součástí by porovnávané stroje v takto definovaném provozu vyprodukovaly.

V tabulce 3.6 je dle vztahu (3.4) vypočteno rozložení počtu hodin na strojích při provozování stroje na dvě směny a efektivitě výroby 60 %.

$$t_{RBv} = \frac{t_{Rc}}{4000 \cdot \mu \cdot G_{pr}} \quad (3.4)$$

kde: t_{RBv} [hod] - počet hodin budoucí roční produkce vzorků.

Tab. 3.6 Rozložení počtu hodin k budoucí roční výrobě vzorků při naplnění dvou směn.

Čas budoucí výroby vzorků při naplnění provozu stroje [hod]				
Stroj	Vzorek 5 tl. 4 mm	Vzorek 3 tl. 6 mm	Vzorek 2 tl. 10 mm	celkový čas
B	453,5	1011,5	935,0	2400,0
D	428,4	996,1	975,5	2400,0
E	472,5	996,0	931,5	2400,0
F	427,2	1012,6	960,3	2400,0
H	601,4	1014,3	784,3	2400,0
I	476,2	1129,6	794,2	2400,0
J	627,5	1004,2	768,3	2400,0

Nyní lze z vypočtených hodnot snadno zjistit budoucí roční produkci v uvažovaných vzorcích. Budoucí roční počty vzorků jsou uvedeny v tabulce 3.7 a byly spočteny dle vztahu (3.5)

$$N_{RBv} = \frac{t_{RBv} \cdot 3600}{t_v} \quad (3.5)$$

kde: N_{RBv} [ks] - počet vzorků z budoucí roční produkce.

Tab. 3.7 Počty vzorků z uvažované budoucí roční produkce.

Počty vzorků z budoucí roční produkce				
Stroj	Vzorek 5 tl. 4 mm	Vzorek 3 tl. 6 mm	Vzorek 2 tl. 10 mm	Celkem ks
B	406 119	385 322	135 457	926 898
D	392 412	372 317	130 886	895 614
E	444 088	421 347	148 122	1 013 557
F	476 087	451 707	158 795	1 086 589
H	422 003	400 392	140 755	963 150
I	428 598	406 650	142 955	978 204
J	448 244	425 289	149 508	1 023 041

Ze získaných počtů je patrné, že mezi porovnávanými stroji není výrazný rozdíl. Všechny zbývající stroje tudíž z hlediska produktivity výroby vyhovují potřebám společnosti Řetězy Vamberk.

3.7 Praktické testy strojů

Z výše uvedených výpočtů produktivity strojů je patrné, že pro potřeby firmy je v tomto ohledu vyhovující sedm strojů. Je nutné si ovšem uvědomit, že se jedná pouze o časové studie dodané přes obchodní zástupce, které nemusejí vždy odpovídat reálnému stavu.

Právě pro tyto důvody bylo provedeno praktické testování řezání z materiálu dodaného přímo firmou Řetězy Vamberk. Testování proběhlo na odlišných součástech, než jsou kalkulované vzorky z důvodu:

- posouzení rychlosti tvorby programu,
- posouzení odladění stroje,
- kvalita povrchu a otvorů při řezání materiálu o tloušťce 12 mm,
- posouzení reálné rychlosti řezání.

Reálně změřené rychlosti řezání na testovaných součástech z tloušťky 3, 6 a 12 mm, jsou uvedeny v tabulce 3.8. U výrobců, kteří měli v tento okamžik ve výběrovém řízení více strojů, probíhaly testy pouze na jednom typu stroje, který se při konzultacích s výrobcem jevil jako vhodnější. Navíc lze předpokládat, že programování, odladění stroje a věrohodnost údajů z časových studií budou v takovém případě obdobné. Z těchto důvodů nejsou v tabulce uvedeny časy u strojů označených písmeny E a J.

Tab. 3.8 Reálně změřené časy u tří testovaných součástí.

Časy testovaných součástí [s]			
Stroj	Kroužek 01 tl. 3 mm	Deska 02 tl. 6 mm	Deska 01 tl. 10 mm
B	4,4	14,2	30,5
D	3,1	11,1	26,0
F	3,1	9,2	19,1
H	4,8	13,0	31,0
I	3,2	9,5	20,0

Z reálně změřených dat v tab. 3.8 byly zaznamenány větší rozdíly mezi danými stroji. Jak však bylo naznačeno, testy měly za cíl posoudit i jiné důležité stránky stroje, jako je například tvorba programu, odladění stroje a kvalita řezu (obr. 3.8). Nutno podotknout, že se jedná o subjektivní hodnocení (tab. 3.9), které může být z části způsobeno kvalitou daného programátora, či operátora.

Tab. 3.9 Subjektivní hodnocení strojů dle kritérií.

Subjektivní hodnocení strojů (1 = nejlepší, 5 = nevyhovující)				
Stroj	Software	Kvalita řezu	Odladění stroje	Celkem
B	3	3	3	9
D	1	2	1	4
F	2	1	1	4
H	2	1	2	5
I	2	1	1	4



Obr. 3.8 Porovnání kvality povrchu u testovaných součástí.

Po provedení praktických testů na strojích a subjektivním hodnocení strojů, se společnost rozhodla vyřadit z dalšího jednání dva stroje označené písmeny B a H.

3.8 Porovnání nákladů jednotlivých strojů

Další velice důležitým kritériem je porovnání nákladů na provoz strojů.

Variabilní náklady

Všechny uvedené nákladové položky jsou doplněny na základě dodaných podkladů pro hodinu plného vytížení. Sazba elektrické energie je počítána pro všechny výrobce 0,1 €/kWh. Nákladové položky jsou kalkulovány na metodu oxidačního řezání konstrukčních ocelí o tloušťce 6 mm. Přehled variabilních nákladů je uveden v tabulce 3.10. Některé údaje jsou na první pohled diskutabilní. Například zdánlivě vysoký náklad na spotřební díly u výrobce s označením D, nicméně se jedná o hodnotu, kterou obchodní zástupce v kalkulaci uvedl a přes upozornění ji nedovedl blíže specifikovat.

Tab. 3.10 Přehled hodinových variabilních nákladů při plné vytíženosti jednotlivých strojů.

Variabilní náklady na hodinu provozu plně vytíženého stroje				
Stroj	Elektrická energie [€/hod]	Spotřební díly [€/hod]	Plyny a tlak. Vzduch [€/hod]	Celkem [€/hod]
D	1,60	2,50	1,17	5,27
E	5,00	2,25	2,19	9,44
F	2,22	1,33	2,00	5,55
I	3,20	0,53	1,46	5,19
J	4,00	0,53	1,46	5,99

Náklady na obsluhu stroje

Poslední nákladovou položkou jsou zaměstnanci. Zde je počítáno nejen s náklady na operátora, ale také na programátora. Dle informací programátorů společnosti AQUAdem s r.o., je jeden programátor schopný vytvářet programy pro jeden stroj v nepřetržitém provozu. Vliv na vytížení programátora má především charakteristika výroby. S ohledem na rozbor součástkové základny a podíl opakované výroby, je odhadováno spíše nižší vytížení programátora. Cena hodinových nákladů na zaměstnance je spočítána dle vztahu (3.6).

$$H_{zs} = H_{op} + H_{pr} \quad (3.6)$$

kde: H_{zs} [€/hod] - mzda a další náklady na zaměstnance stroje,
 H_{op} [€/hod] - mzda a další náklady na operátora,
 H_{pr} [€/hod] - mzda a další náklady na programátora.

Dosazením do vztahu vychází celkový hodinový náklad na obsluhu stroje.

$$H_{zs} = H_{op} + H_{pr} = 10 + 5 = 15 \text{ €/hod}$$

Fixní náklady

Poslední důležitou položkou jsou fixní náklady stroje. Do těchto nákladů je počítána pořizovací cena stroje, úroky a náklady na pravidelnou údržbu definovanou pro dvousměnný provoz. Náklady na pronájem plochy nejsou uvažovány. Úrokové navýšení je počítáno pomocí elektronické úvěrové kalkulačky s úrokem 3 % po dobu 5 let, spláceno v měsíčních intervalech se splátkou na konci měsíce. Celkové fixní náklady jsou za dobu 5 let provozu stroje (tab. 3.11), jelikož fixní náklady jsou počítány i tehdy, když stroj nepracuje. Celkové fixní náklady jsou spočteny ze vztahu (3.7).

$$C_{fn} = U_n + C_s + U_s \quad (3.7)$$

kde: C_{fn} [€] - celkové fixní náklady za 5 let,

U_n [€] - úrokové navýšení za 5 let,

C_s [€] - pořizovací cena stroje,

U_s [€] - údržba stroje za 5 let.

Tab. 3.11 Přehled celkových fixních nákladů pro 5 let provozu stroje.

Fixní náklady pro jednotlivé stroje za 5 let				
Stroj	Cena stroje [€]	Úrokové navýšení [€]	Údržba stroje [€]	Celkem [€]
D	517 660	40 440	45 000	603 100
E	530 620	41 453	50 000	622 073
F	537 500	41 990	53 500	632 990
I	369 000	28 827	46 000	443 827
J	399 000	31 170	46 000	476 170

Celkové náklady na 5 let provozu stroje

Po rozboru jednotlivých nákladových položek, zbývá určit náklady na 5 let provozu jednotlivých strojů (tab. 3.12). Tyto náklady jsou spočteny dle vztahu (3.8).

$$C_{ps} = C_{fn} + H_{zs} \cdot n_{hp} + (H_{vn} \cdot n_{hp} \cdot \mu) \quad (3.8)$$

kde: C_{ps} [€] - celkové náklady za 5 let provozu stroje,

H_{vn} [€] - variabilní náklady na plné vytížení stroje,

n_{hp} [€] - celkový počet provozních hodin za 5 let.

Tab. 3.12 Přehled celkových nákladů za 5 let provozu stroje.

Celkové náklady za 5 let provozu stroje [€]				
Stroj	Fixní náklady	Zaměstnanci	Variabilní náklady	Celkem
D	603 100,34	300 000,00	63 279,60	966 379,94
E	622 072,80	300 000,00	113 250,00	1 035 322,80
F	632 990,27	300 000,00	66 600,00	999 590,27
I	443 826,81	300 000,00	62 250,00	806 076,81
J	476 170,45	300 000,00	71 850,00	848 020,45

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že pro potřeby firmy Řetězy Vamberk je nejvhodnější stroj s označením I, kterým je CO₂ laser LCG-3015 o výkonu 3,5 kW od společnosti Amada. Výhodou tohoto stroje jsou v porovnání s konkurencí nižší pořizovací náklady a rychlé řezné časy na všech měřených i kalkulovaných dílech. Navíc u tohoto stroje byla zachována výborná kvalita povrchu i při vysokých řezných rychlostech. V neposlední řadě je tento stroj zajímavý z hlediska variabilních nákladů, které jsou v kalkulacích mnohem významnější položkou v případě úplného odepsání stroje po pěti letech provozu. Lze předpokládat, že některé údaje v kalkulacích mohou být částečně zkreslené, jelikož je lze jen obtížně přesně vyčíslit. Z dosažených výsledků ovšem vyplývá, že v rozdílu nákladů pětiletého provozu je dostatečná rezerva i pro tyto případy.

Poslední možný zvrat ve výsledku může způsobit produktivita stroje. Konkurenční stroj pod označením F vykázal nejvyšší produktivitu práce (tab. 3.5). Pro jednoduché ověření nákladů stroje v porovnání se strojem pod označením F je použito vztahu (3.9).

$$N_{\text{Flcg}} = \frac{\mu_{\text{LCG}}}{\mu_{\text{F}}} \cdot C_{ps} \quad (3.9)$$

kde: N_{Flcg} [€] - celkové náklady stroje F na produkci stroje LCG,
 μ_{LCG} [%] - vytíženost stroje LCG z průměrné roční produkce,
 μ_{F} [%] - vytíženost stroje F z průměrné roční produkce,

Dosažením do vztahu jsou dopočítány celkové orientační náklady stroje s označením F při výrobě produkce ze stroje LCG.

$$N_{\text{Flcg}} = \frac{\mu_{\text{LCG}}}{\mu_{\text{F}}} \cdot C_{ps} = \frac{24,23}{26,91} \cdot 990\,590,27 = 900\,039,77 \text{ €}$$

Z kontrolního výpočtu lze dále potvrdit stroj LCG jako neoptimálnější variantu. Stroj s označením F od konkurenčního výrobce lze považovat pro vysokou produktivitu výroby jako alternativu k dalšímu vyjednávání.

3.9 Stroj LCG-3015

Vybraným zařízením je stroj LCG-315 (obr. 3.9) portálové konstrukce s CO₂ rezonátorem o výkonu 3,5 kW od společnosti Fanuc. V této části budou uvedeny nejdůležitější body stroje.

Rám stroje

Rám je základním prvkem konstrukce stroje, který má dle své tuhosti vliv na přesnost řezu při vysokých rychlostech i životnost celého zařízení. Rám stroje a díly stolu se skládají ze svařované konstrukce uzpůsobené pro vysokou stabilitu a tlumení vibrací

Rezonátor

Rezonátory Fanuc jsou speciálně vyvinuty pro průmyslové řezání oceli, nerezové oceli a různých barevných kovů. Od roku 1987 byly nainstalovány tisíce laserů od společnosti Fanuc, přičemž společnost Amada má s tímto výrobcem sjednáno tříleté přednostní právo pro instalaci nových typů rezonátorů.

V tomto typu rezonátoru jsou anody a katody napařeny z vnější části výbojkových trubic. Elektrody se tudíž nenachází v prostoru výboje. Výhodou tohoto provedení je odstranění opotřebení elektrod a optických dílů. Rezonátor pracuje na principu rychlého axiálního proudění.



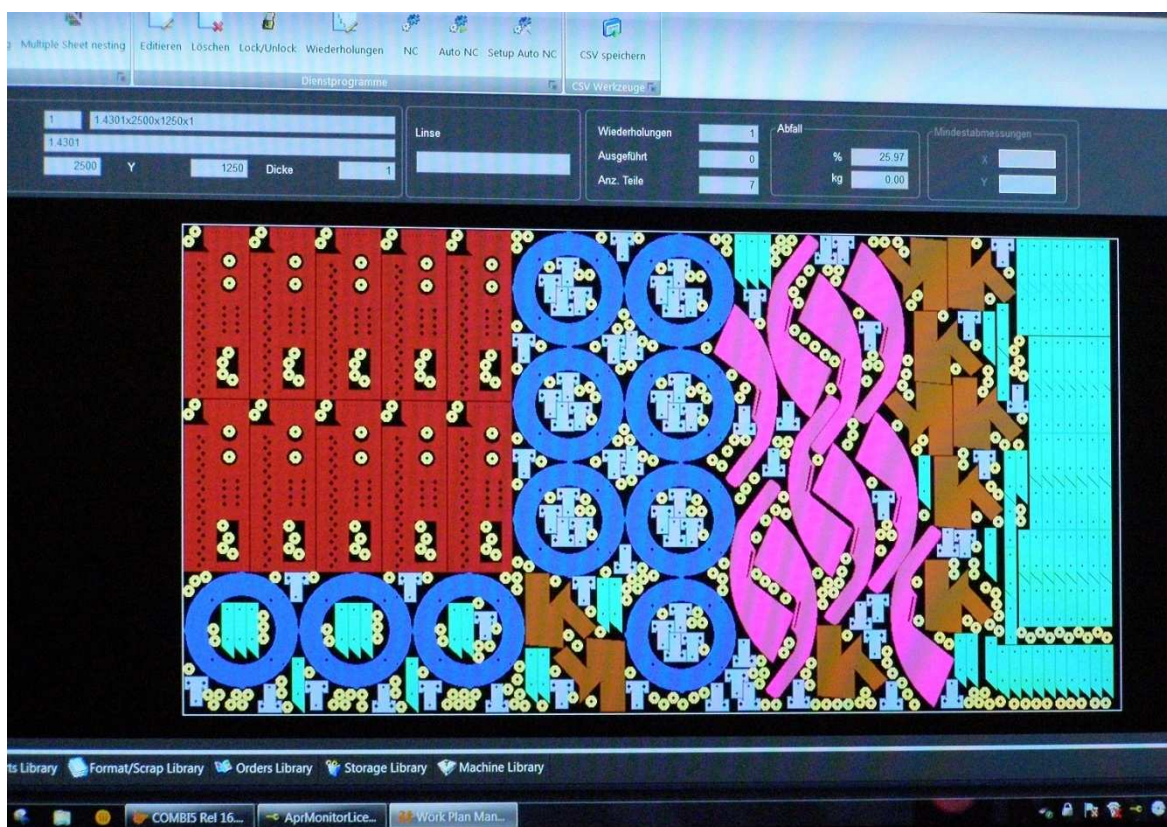
Obr. 3.9 Laserový řezací stroj LCG-3015 od společnosti Amada.

Technická data

Na stroji je možné řezat běžnou konstrukční ocel do tloušťky 20 mm. Korozivzdorné oceli lze řezat do tloušťky 15 mm a hliník do tloušťky 10 mm. Stroj je určen ke zpracování tabulí plechu o maximálním formátu 3 x 1,5 metru. Odpad a drobné díly jsou zachytávány do pojízdných sběrných nádob.

Software

Tvorby řezných plánů jsou prováděny pomocí softwaru Dr. ABE (obr. 3.10). Software umí pracovat s téměř všemi typy formátů včetně 3D. Program vedle funkce automatického rozložení a řízení procesu umožňuje také ruční editaci. V programu lze využít mnoha funkcí včetně určené rotace dílů pro následné ohyby, či nastavení priorit výroby dílů při tvorbě pálicího plánu.



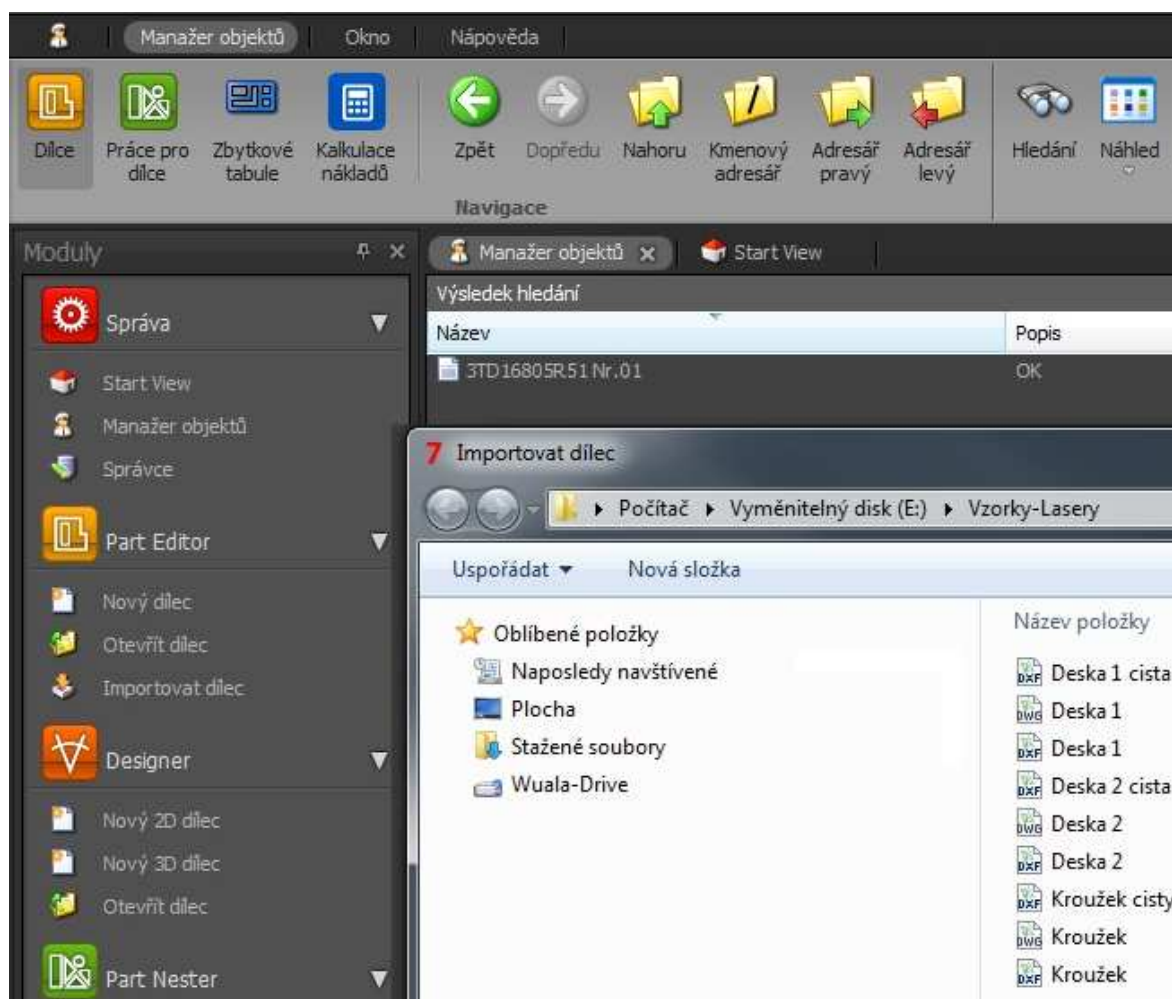
Obr. 3.10 Uživatelské prostředí programu Dr. ABE.

4 ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉ PŘÍPRAVY VÝROBY

V následující kapitole bude stručně popsán princip tvorby řezného programu, která předchází tomu, než obsluha načte daný program přímo na stroji. Popis jednotlivých kroků programátora je doplněn o printscreeny z programu BySoft 7 od společnosti Bystronic, které byly pořízeny za spolupráce firmy AQUAdem s r.o. Jako vzorová byla zvolena jedna ze součástí použitých také při řezání vzorků.

4.1 Nahrání součásti

Nahrání výkresu součásti neboli import, je prvním krokem programátora. K nahrání bylo zvoleno standardně používaného formátu „dxf“, je však možné zvolit mnoho dalších typů formátů, včetně vložení dílce přímo ze 3D modelu. V tomto případě bylo nahrání vzorku provedeno z flash disku. V běžné výrobě jsou součásti nahrávány z firemní databáze. Na obrázku 4.1 je zobrazena část programu BySoft 7 během importu součásti, kdy programátor pouze zvolí operaci Importovat dílec a po zadání cesty vybere požadovanou součást.

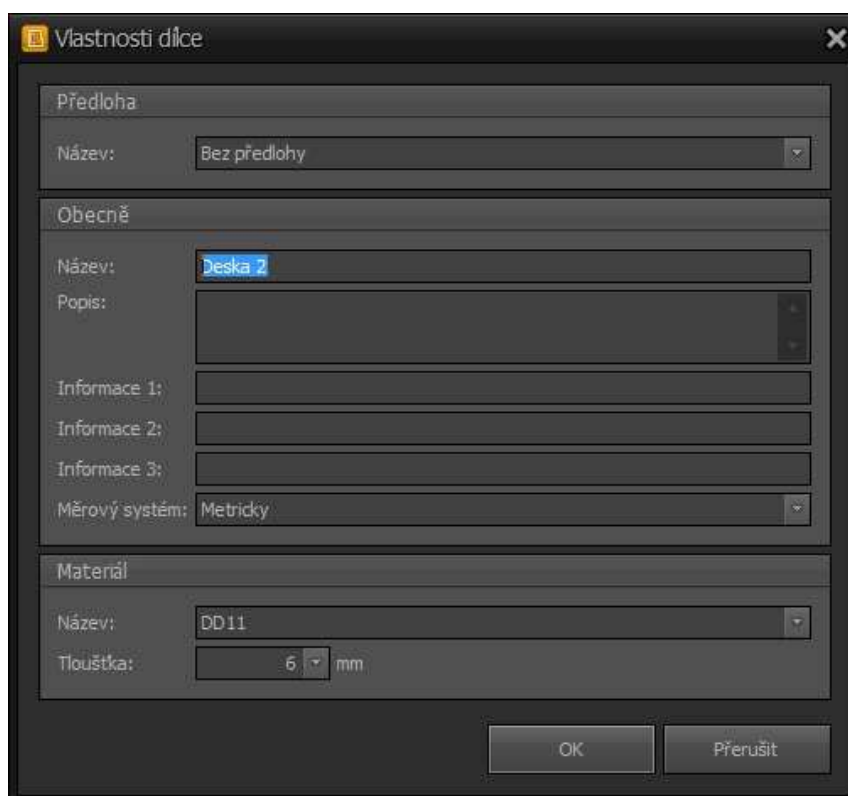


Obr. 4.1 Snímek prostředí programu Bysoft 7 během importování dílu.

4.2 Volba vlastností dílce

Ve druhém kroku programátor zadá důležité vlastnosti dílce (obr. 4.2). Je nutné definovat jakost a tloušťku polotovaru, ze kterého má být součást vyrobena. V případě potřeby je v tomto kroku možné také změnit měrový systém.

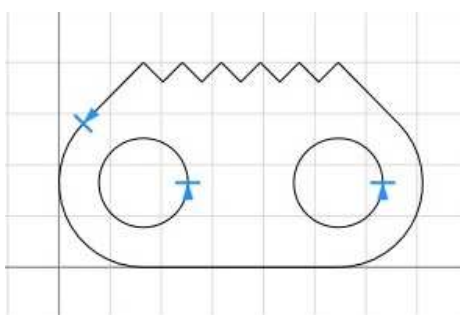
Pro zpracování zvolené součásti byl zvolen materiál typu DD11, který odpovídá běžné konstrukční oceli o tloušťce 6 mm.



Obr. 4.2 Zadání základních vlastností dílce.

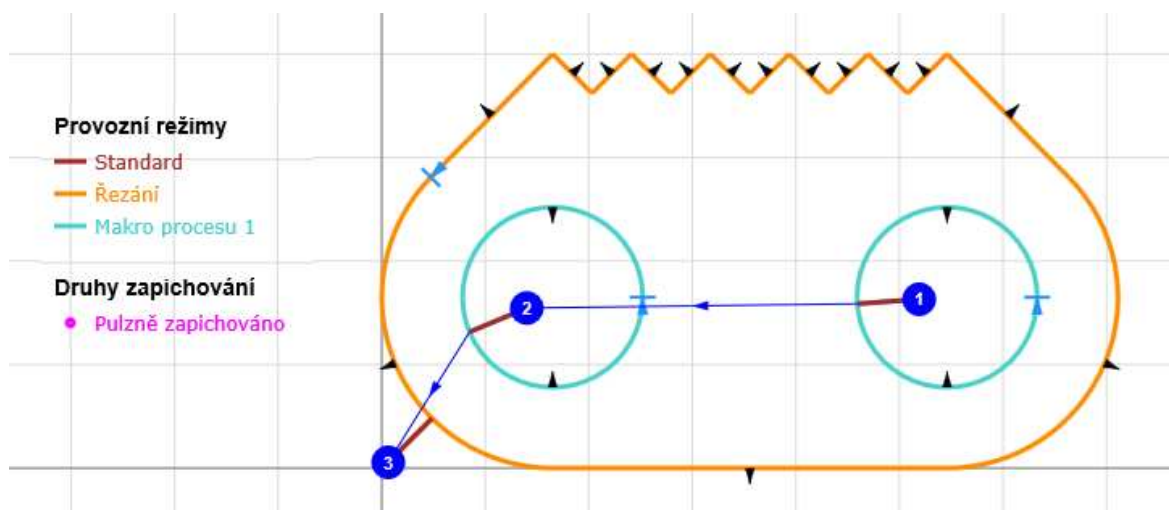
4.3 Volba technologických parametrů

Po zadání vlastností dílce již dojde k zobrazení kontury (detail na obrázku. 4.3) zvolené součásti. Dalším krokem programátor nastaví technologické parametry řezání. V tomto nastavení programátor určí typ stroje, provozní režim, vlastnosti řezání, způsob vpichu, pořadí obrábění a další důležité parametry.



Obr. 4.3 Detail kontury dílce při nahrání do programu.

Program po zadání parametrů barevně odliší (obr. 4.4) jednotlivé provozní režimy stroje a znázorní dráhu řezu jednoho dílce. V této části má programátor možnost dle potřeby upravit styl nařiznutí neboli nájezdu a koncového řezu. Pro naše účely byl zvolen nájezd po přímce o délce 3 mm a přímý koncový řez.



Obr. 4.4 Znázornění detailu řezu u jedné součásti.

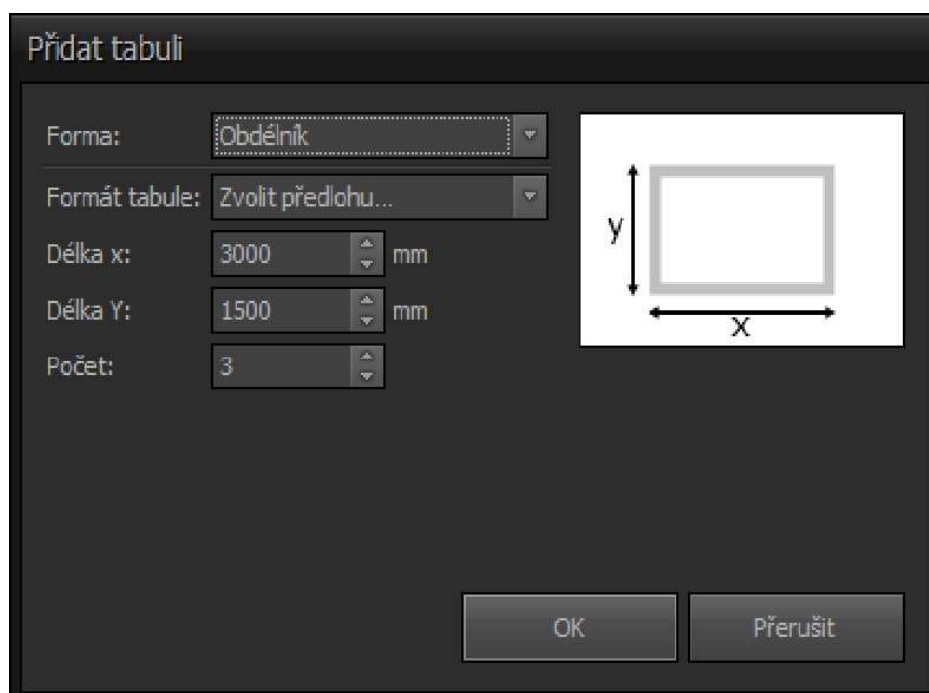
Po zadání všech parametrů je proveden celkový souhrn pro jednu součástku, jehož výstupem je čas na zpracování jednoho kusu a celková délka řezu. Pokud se zakázky jednotlivých dílů opakují, je takto uložený díl (obr. 4.5) kdykoliv připraven k velmi rychlé tvorbě pálicího plánu.

Manažer objektů				
Start View				
Deska 2* - Part Editor				
Provozní režim	Čas	Dráha	Zápich	
Polohovat	00:00:00	0,047 m	Normální	0
Řezání	00:00:06	0,211 m	Pulzně zapichováno	3
Pulzy	00:00:00	0 m	Od rozměru Z	0
Rytí	00:00:00	0 m	Bez času	0
Makro procesu 1	00:00:03	0,117 m	Kruhový	0
Makro procesu 2	00:00:00	0 m	Letmý	0
Makro procesu 3	00:00:00	0 m	Vrtáno	0
Makro procesu 4	00:00:00	0 m		
Makro procesu 5	00:00:00	0 m		
Zápichy dovnitř/ven	00:00:03			
Celkem	00:00:14	0,375 m		3

Obr. 4.5 Celkový přehled času zpracování a délky řezu pro jeden díl.

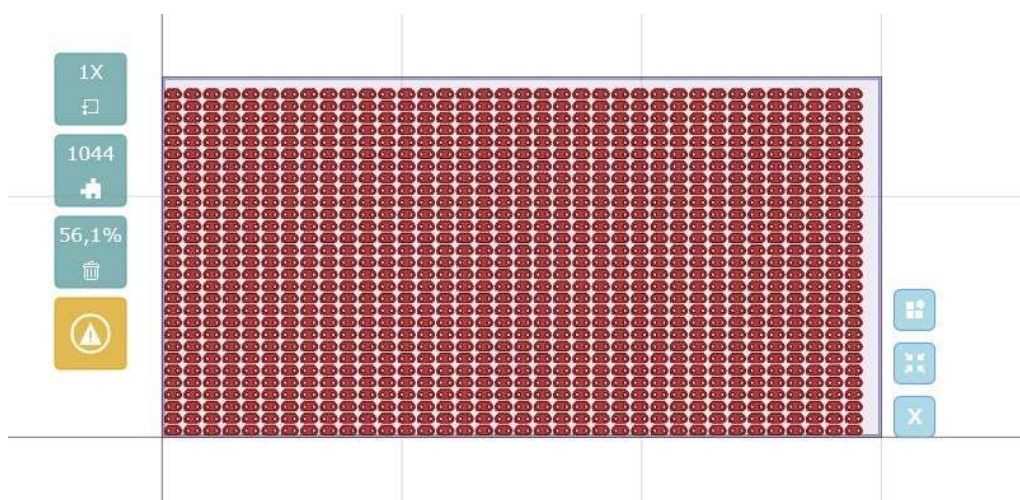
4.4 Tvorba řezného plánu

Po kompletním zpracování jednoho dílce následuje tvorba pálicího plánu. Zde programátor nejprve zadá formát a počet tabulí (obr. 4.6), případně může použít možnosti využití zbytkové tabule z předchozího řezání. Pro tuto zadanou součást byla zvolena tabule o maximálním formátu 3 x 1 m.



Obr. 4.6 Zadání formátu tabule pro tvorbu řezného plánu.

Po stanovení formátu tabule lze v programu zvolit tvorbu řezného plánu automaticky, nebo součásti skládat ručně. Jelikož se jedná o tvarově jednoduchou součást, bylo zvoleno automatického rozložení dílů. V případě nespokojenosti může programátor velmi snadno rozložení upravit a zvýšit využití plechu. Detail automatické tvorby pálicího plánu je zobrazen na obrázku 4.7.



Obr. 4.7 Detail automatického rozložení dílců po celé tabuli.

Pokud je rozložení dílů vyhovující, nechá programátor uložit NC program a vytvoří pro obsluhu stroje zakázku. V zakázce jsou shrnuty základní údaje o materiálu, počtech součástí, tvaru dílů, času zpracování a znázorněno rozložení všech součástí.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

V této části bude hlavním úkolem zhodnocení ekonomické investice do nové technologie. Z tohoto důvodu budou vypočteny současné náklady na kooperaci výroby. Následně budou tyto náklady povýšeny na produkci stroje LCG a porovnány s náklady vyčíslenými na provoz stroje.

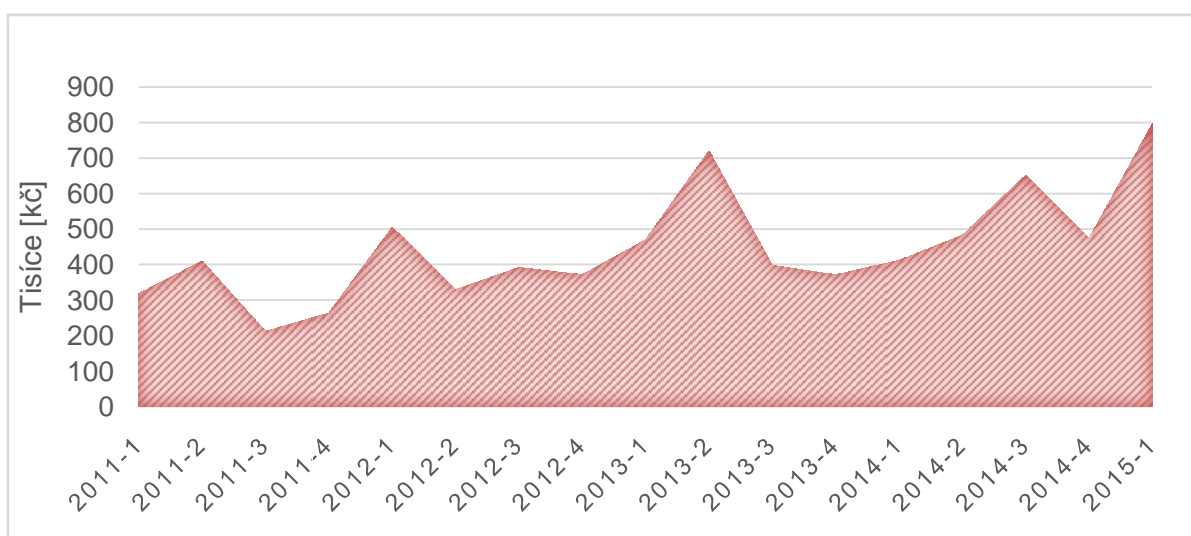
5.1 Současné náklady na řezání dílů v kooperaci

Jak bylo řečeno v úvodu této práce, společnost Řetězy Vamberk vynakládá nemalé náklady na kooperaci výroby. Pro současné náklady na řezání dílů v kooperaci bylo opět využito dat ze systému Vision 32. Čtvrtletní náklady na kooperaci od roku 2011 jsou uvedeny v tab. 5.1, včetně počtu vypálených dílů a hmotnosti výpalků.

Tab. 5.1 Přehled ceny, počtu a hmotnosti výpalků zpracovaných v kooperaci.

Přehled počtů výpalků, ceny a hmotnosti výpalků zpracovaných v kooperaci			
Čtvrtletí	Počet [ks]	Cena [Kč]	Hmotnost [kg]
2011-1	32 497,00	318 761,00	10 298,00
2011-2	51 416,00	410 345,00	10 933,00
2011-3	26 892,00	212 296,00	5 143,00
2011-4	26 043,00	263 892,00	8 734,00
2012-1	35 057,00	505 430,00	20 721,00
2012-2	29 054,00	329 797,00	11 713,00
2012-3	36 280,00	392 190,00	13 827,00
2012-4	40 582,00	371 990,00	15 211,00
2013-1	54 054,00	470 248,00	16 354,00
2013-2	82 800,00	720 441,00	25 864,00
2013-3	39 138,00	397 855,00	22 581,00
2013-4	78 577,00	371 906,00	11 379,00
2014-1	69 645,00	412 292,00	13 076,00
2014-2	66 310,00	483 101,00	17 732,00
2014-3	104 139,00	652 640,00	25 444,00
2014-4	67 701,00	474 032,00	25 927,00
2015-1	134 314,00	798 036,00	27 907,00

Jedním z bodů uvedených v zadání poptávky na technologii řezání laserem byl očekávaný nárůst výroby. Z grafu (obr. 5.1) je patrné, že náklady na kooperaci skutečně vzrůstají. V posledním sledovaném čtvrtletí se cena kooperace řezání laserem přiblížila hodnotě 800 000 Kč.



Obr. 5.1 Přehled ceny kooperace laseru za jednotlivá čtvrtletí od roku 2011.

Průměrná cena kooperace řezání

Průměrná cena čtvrtletních nákladů na kooperaci řezání je spočtena z let 2011 až 2014 dle vztahu (5.1).

$$C_{pk} = \frac{C_{k1-1} + C_{k1-2} + \dots + C_{k4-4}}{N_{\check{c}}} \quad (5.1)$$

- kde:
- C_{pk} [Kč] - cena průměrné čtvrtletní kooperace,
 - C_{k1-1} [Kč] - cena kooperace za první čtvrtletí roku 2011,
 - C_{k1-2} [Kč] - cena kooperace za druhé čtvrtletí roku 2011,
 - C_{k4-4} [Kč] - cena kooperace za čtvrté čtvrtletí roku 2014,
 - $N_{\check{c}}$ [-] - počet sledovaných čtvrtletí.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{pk} = \frac{C_{k1-1} + C_{k1-2} + \dots + C_{k4-4}}{N_{\check{c}}} = \frac{6\,787\,216}{16} = 424\,201 \text{ Kč}$$

Průměrná cena odpadu

Řetězy Vamberk kooperují výrobu z cca 90 % u jediné firmy, která má ceny řezů ve srovnání s konkurencí nižší řádově o 50 %. Zvýhodněné ceny jsou do jisté míry ovlivněny cenou odpadu, který z vyřezaných plechů není pro logistické důvody odvážen zpět do společnosti Řetězy Vamberk.

V rozboru výrobního sortimentu na začátku tohoto projektu, je uvedena tabulka 1.9, ve které jsou uvedeny hrubé hmotnosti zpracovaného materiálu. Celkový součet těchto hmotností do materiálu o tloušťce 20 mm činí 443 895 kg.

V tabulce 5.1 je uvedena čistá hmotnost součástí, která činí 254 937 kg.

Orientační poměr využití materiálu je vypočten dle vztahu (5.2).

$$P_m = \frac{m_s}{m_{pol}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

kde: P_m [%] - procento využitelnosti materiálu,
 m_s [kg] - čistá hmotnost součástí z let 2011 až 2014,
 m_{pol} [kg] - hmotnost zpracovaných polotovarů z let 2011 - 2014.

Po dosazení do vztahu.

$$P_m = \frac{m_s}{m_{pol}} \cdot 100 = \frac{254\,937}{443\,895} \cdot 100 = 57,43 \%$$

Z výpočtu využitelnosti materiálu vyplývá, že přibližně 43 % ze zpracovaných polotovarů je odpad. Nedořezané zbytky tabulí jsou ale vráceny a část odpadu je vyprodukována při následných operacích děrování, či obrábění. Z těchto důvodů je počítáno s průměrnou ztrátou odpadu 30 % ze spotřebovaných polotovarů.

Průměrná cena ztrátového odpadu je spočtena dle vztahu (5.3).

$$C_{po} = \frac{m_p}{N_{\check{c}}} \cdot \frac{P_o}{100} \cdot C_{kg} \quad (5.3)$$

kde: C_{po} [Kč] - průměrná cena ztrátového odpadu,
 P_o [%] - procento ztrátového odpadu,
 C_{kg} [Kč] - výkupní cena jednoho kilogramu šrotu.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{po} = \frac{m_s}{N_{\check{c}}} \cdot \frac{P_o}{100} \cdot C_{kg} = \frac{449\,031}{16} \cdot \frac{30}{100} \cdot 7 = 58\,935 \text{ Kč}$$

Průměrná cena dopravy

Poslední nezanedbatelnou položkou, kterou je nutné započítat k současným nákladům na kooperaci výroby je doprava materiálu. Za tímto účelem bylo provedeno sledování v prvním čtvrtletí roku 2015. Náklady na dopravu se skládají

z ceny účtované externím dopravcem a nákladů spojených s provozem firemního nákladního vozidla.

V prvním čtvrtletí roku 2015 externí dopravce fakturoval v souvislosti s kooperací laserového řezání celkem 35 175 Kč za dopravu a manipulaci s materiálem.

Náklady na provoz firemního nákladního vozu v prvním čtvrtletí roku 2015 jsou počítány podle evidence v knize jízd. Náklady na firemní nákladní vůz jsou spočteny vztahem (5.4).

$$C_{fdQ15} = n_{jR} \cdot s_R \cdot C_{km} + n_{jR} \cdot C_m + n_{jH} \cdot s_H \cdot C_{km} + n_{jH} \cdot C_m \quad (5.4)$$

kde: C_{fdQ15} [Kč] - cena firemní dopravy v prvním čtvrtletí 2015,
 n_{jR} [-] - počet jízd do Rokytnice v prvním čtvrtletí 2015,
 s_R [km] - délka jedné pracovní cesty do Rokytnice,
 C_{km} [Kč/km] - náklady na vozidlo a řidiče na 1 km,
 C_m [Kč] - cena manipulace s materiálem na jednu jízdu,
 n_{jH} [-] - počet jízd do Hradce Králové v prvním čtvrtletí 2015,
 s_H [km] - délka jedné pracovní cesty do Hradce Králové.

Po dosazení do vztahu.

$$\begin{aligned} C_{fdQ15} &= n_{jR} \cdot s_R \cdot C_{km} + n_{jR} \cdot C_m + n_{jH} \cdot s_H \cdot C_{km} + n_{jH} \cdot C_m \\ &= 16 \cdot 42 \cdot 10 + 16 \cdot 250 + 3 \cdot 72 \cdot 10 + 3 \cdot 250 = 13\,630 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Celkové náklady na dopravu v prvním čtvrtletí roku 2015 jsou vypočteny dle vztahu (5.5).

$$C_{dQ15} = C_{edQ15} + C_{fdQ15} \quad (5.5)$$

kde: C_{dQ15} [Kč] - cena celkové dopravy v prvním čtvrtletí 2015
 C_{edQ15} [Kč] - cena externí dopravy v prvním čtvrtletí 2015.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{dQ15} = C_{edQ15} + C_{fdQ15} = 35\,175 + 13\,630 = 48\,805 \text{ Kč}$$

Vzhledem ke skutečnosti, že výše uvedená doprava je počítána z prvního čtvrtletí roků 2015, bude výpočet upraven. Nyní bude vypočítána průměrná doprava dle průměrné hmotnosti součástí z let 2011 až 2014. K výpočtu je využito vztahu (5.6).

$$C_{dp} = \frac{m_s}{m_{sQ15} \cdot 16} \cdot C_{dQ15} \quad (5.6)$$

kde: C_{dp} [Kč] - cena dopravy za průměrné čtvrtletí z let 2011 až 2014,
 m_{sQ15} [kg] - čistá hmotnost součástí z prvního čtvrtletí 2015.

$$C_{dp} = \frac{m_s}{m_{sQ15} \cdot 16} \cdot C_{dQ15} = \frac{254\,937}{27\,907 \cdot 16} \cdot 48\,805 = 27\,865 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na průměrnou kooperaci

Nyní jsou již rozpočítány všechny nákladové položky současné kooperace výroby. Celkové náklady na průměrnou čtvrtletní kooperaci jsou vypočteny ze vztahu (5.7).

$$C_{kQ} = C_{pk} + C_{po} + C_{dp} \quad (5.7)$$

kde: C_{kQ} [Kč] - celková cena průměrné kooperace z let 2011 až 2014.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{kQ} = C_{pk} + C_{po} + C_{dp} = 424\,201 + 58\,935 + 27\,865 = 511\,001 \text{ Kč}$$

5.2 Porovnání nákladů na provoz stroje s náklady na kooperaci

Nyní bude provedeno porovnání pětiletých nákladů jednotlivých variant provozu stroje a zachování kooperace.

Pětileté náklady uvažovaného provozu stroje

Nejprve budou převedeny pětileté náklady provozu stroje ve dvousměnném provozu na sazbu v korunách dle vztahu (5.8).

$$C_{psK} = C_{ps} \cdot K_{\epsilon} \quad (5.8)$$

kde: C_{psK} [Kč] - cena pětiletého provozu stroje v Kč.
 K_{ϵ} [-] - aktuální kurz CZK/EUR.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{psK} = C_{ps} \cdot K_{\epsilon} = 806\,076,81 \cdot 27,40 = 22\,086\,504 \text{ Kč}$$

Pětileté náklady průměrné kooperace

Pětileté náklady průměrné kooperace z let 2011 až 2014 jsou vypočteny dle vztahu (5.9).

$$C_{pkK} = C_{kQ} \cdot N_{\check{c}p} \quad (5.9)$$

kde: C_{pkK} [Kč] cena průměrné pětileté kooperace.
 $N_{\check{p}}$ [-] počet čtvrtletí v pěti letech.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{pkK} = C_{kQ} \cdot N_{\check{p}} = 511\,001 \cdot 20 = 10\,220\,020 \text{ Kč}$$

Z dopočítaných výsledků je patrné, že při zachování průměrné produkce je stroj nerentabilní variantou. Od začátku však bylo počítáno s navýšením výroby tak, aby byl stroj provozován ve dvousměnném provozu a efektivitě 60 %.

Pětileté náklady kooperace dle produkce stroje

Náklady na pět let průměrné kooperace, budou nyní převedeny na náklady při uvažovaném vytížení stroje. K výpočtu je využito zjištěného vytížení stroje G_{pr} , které bylo vypočteno během zjišťování produktivity strojů (tab. 3.5). Celkové náklady na pětiletý provoz budou vypočteny dle vztahu (5.10).

$$C_{tpk} = \frac{C_{pkK}}{G_{pr}} \cdot 100 \quad (5.10)$$

kde: C_{tpk} [Kč] celková teoretická pětiletá kooperace dle produkce.

Po dosazení do vztahu.

$$C_{tpk} = \frac{C_{pkK}}{G_{pr}} \cdot 100 = \frac{10\,220\,030}{26,91} \cdot 100 = 37\,978\,558,16 \text{ Kč}$$

5.3 Teoretická úspora při vytížení stroje

V případě naplnění plánovaného vytížení stroje ve dvousměnném provozu, je možné vypočítat teoretickou hodnotu úspory. Úsporu v nákladech při řezání vlastním strojem ve srovnání s teoretickými náklady na kooperaci lze spočítat ze vztahu (5.11).

$$U_{tpp} = C_{tpk} - C_{psK} \quad (5.11)$$

kde: U_{tpp} [Kč] celková úspora při teoretickém pětiletém provozu.

Po dosazení do vztahu.

$$U_{tpp} = C_{tpk} - C_{psK} = 37\,978\,558,16 - 22\,086\,504,00 = 15\,892\,054,16 \text{ Kč}$$

5.4 Celkový hodinový náklad provozu stroje

Při splnění předpokladů dvousměnného provozu, je zajímavou položkou hodinový náklad stroje. Hodinový náklad je započítán na 60 % efektivitu využití stroje, tudíž je důležitým výchozím údajem pro odepsání stroje. Hodinový náklad je určen ze vztahu (5.12).

$$H_{nl} = \frac{C_{psK}}{\mu \cdot 20000} \quad (5.12)$$

kde: H_{nl} [Kč] celkový hodinový náklad stroje včetně efektivy.

Po dosazení do vztahu.

$$H_{nl} = \frac{C_{psK}}{\mu \cdot 20000} = \frac{22\,086\,504}{0,6 \cdot 20\,000} = 1\,840,54 \text{ Kč/hod}$$

5.5 Celkový náklad na metr řezu z materiálu tloušťky 6 mm

Během výpočtů byly variabilní náklady počítány na nejčtenější tloušťku řezu 6 mm. Lze tedy předpokládat, že při zpětném výpočtu poměru celkových nákladů a délky řezů, lze spočítat orientační cenu jednoho metru řezu vztahem (5.13).

$$N_{m6} = \frac{G_{pr} \cdot C_{psK}}{L_{rc} \cdot 100} \quad (5.13)$$

kde: N_{m6} [Kč] náklad na průměrnou cenu metru řezu,
 L_{rc} [m] celková délka řezů z let 2011 až 2014.

Po dosazení do vztahu.

$$N_{m6} = \frac{G_{pr} \cdot C_{psK}}{L_{rc} \cdot 100} = \frac{26,91 \cdot 22\,086\,504}{79\,645,4 \cdot 100} = 14,93 \text{ Kč}$$

Z uvedených výpočtů jsou získány orientační hodnoty nákladů pro laser, které mohou sloužit jako porovnávací náklad s jinými technologiemi.

6 DISKUZE

Ze získaných výsledků je patrné, že průměrný objem výroby kooperovaných dílů z let 2011 až 2014 nevyhovuje vytížení stroje v dvousměnném provozu. Naopak při naplnění výroby stroje ve dvousměnném provozu je stroj v porovnání s náklady na kooperaci velmi rentabilní. V rámci této kapitoly bude proveden rozbor několika návrhů, které by v budoucnu měli přispět ke zvýšení vytíženosti a zlepšení rentability vybraného zařízení. Dále budou krátce zmíněny další přínosy zařízení, které nelze zahrnout do ekonomické rozvahy, ale z hlediska firmy jsou velmi důležité.

6.1 Absence střížného nástroje

Společnost Řetězy Vamberk disponuje vlastní nástrojárnou, která je v současnosti značně vytížená. Hlavní náplní nástrojárny je výroba a údržba montážních, svařovacích, frézovacích a lisovacích přípravků, které zajišťují vyrobiteľnost veškerých sjednaných zakázek. Jedním z bodů k diskusi je, od jaké velikosti série je vhodné vyrábět nový střížný nástroj s ohledem na minimální výslednou cenu součásti. K tomuto účelu byl vytipován lisovací nástroj běžné velikosti (obr. 6.1), který je zkonstruován pro stříhání tvaru z plechu o tloušťce 6 mm.



Obr. 6.1 Stříhadlo tvaru T - 42.

Cena nástroje je určena vztahem (6.1).

$$C_n = C_m + (T_h \cdot H_n) \quad (6.1)$$

Kde: C_n [Kč] - cena nástroje,
 C_m [Kč] - cena materiálu,
 T_h [hod] - počet odpracovaných hodin na nástroji,
 H_n [Kč] - hodinová sazba nástrojárny.

Po dosazení vychází výsledná cena nástroje.

$$C_n = C_m + (T_h \cdot H_n) = 5\,932 + (127,5 \cdot 314) = 45\,967 \text{ Kč}$$

Nyní bude porovnán vzorový příklad ceny výstřižku a výpalku v sérii 10 000 kusů. Vzhledem k vyšší velikosti série nejsou uvažovány přípravné časy pro upnutí nástroje.

Cena výstřižku bez přípravy nástroje je dána vztahem (6.2).

$$C_{vs} = \frac{C_n}{n_v} + \frac{t_{vs}}{3600} \cdot H_l \quad (6.2)$$

Kde: C_{vs} [Kč] - cena jednoho výstřižku,
 n_v [ks] - počet výstřižků,
 t_{vs} [s] - čas na výrobu jednoho výstřižku,
 H_l [Kč] - hodinová sazba lisovny.

Po dosazení vychází výsledná cena výstřižku.

$$C_{vs} = \frac{C_n}{n_v} + \frac{t_{vs}}{3\,600} \cdot H_l = \frac{45\,967}{10\,000} + \frac{3}{3\,600} \cdot 300 = 4,85 \text{ Kč}$$

Cena výpalku je závislá především na délce obvodu a je dána vztahem (6.3).

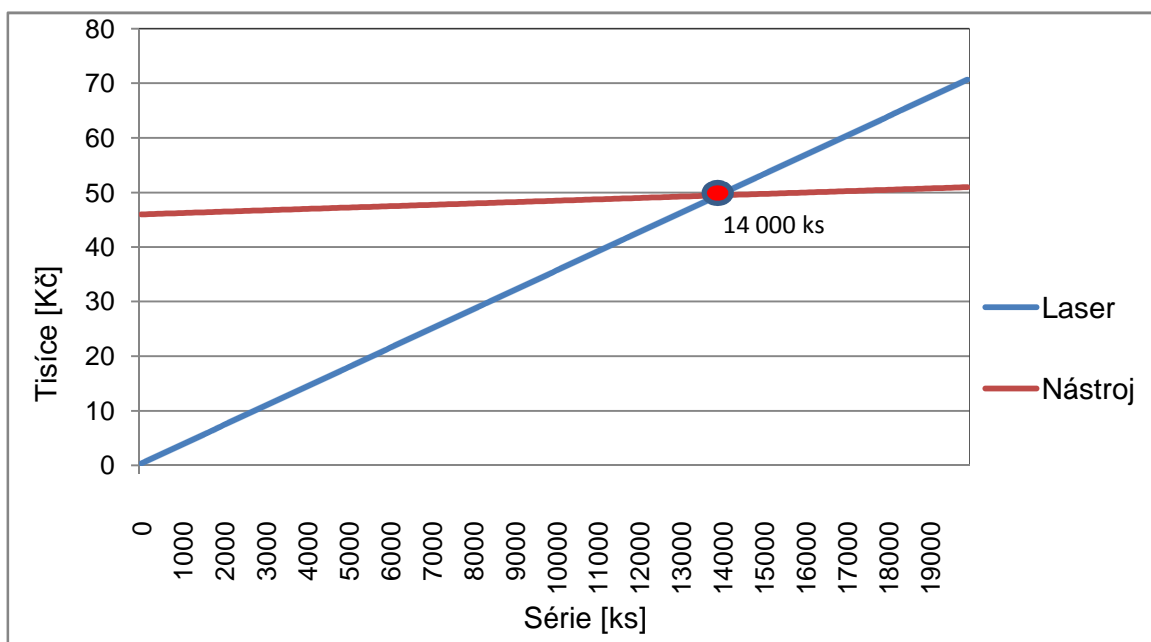
$$C_{vp} = N_{m6} \cdot O_v \quad (6.3)$$

Kde: C_{vp} [Kč] - cena jednoho výpalku.

Po dosazení vychází výsledná cena výpalku.

$$C_{vp} = N_{m6} \cdot O_v = 14,93 \cdot 0,236 = 3,52 \text{ Kč}$$

Dle zadaných rovnic bylo zjištěno, že u dané součásti je výhodné vyrábět nový nástroj, pokud velikost série přesáhne 14 tisíc kusů (obr. 6.2).



Obr. 6.2 Srovnání ceny výrobku dle velikosti série.

6.2 Malosériové zakázky

Ve výrobním programu společnosti se objevují malosériové zakázky, na jejichž výrobu postačují desítky kusů jednotlivých výrobků. Náklady na přípravu, upnutí a seřízení lisovacích nástrojů v takových případech zvyšují cenu jednotlivých dílů. Zpracování části malosériových zakázek laserem by odbouralo náklady na dlouhé seřizovací časy, čímž by byla snížena výsledná cena součástí.

6.3 Opravy a chyby ve výrobě

V ideálním výrobním procesu by nikdy neměla nastat situace, kdy kompletnímu zpracování zakázky brání chybějící součást. V reálném provozu se takovéto situace bohužel stávají. V případě, že je daná součást vyráběna prostřednictvím střížného nástroje, lze danou operaci napravit. Pokud chybí díl vyráběný v kooperaci, znamená to nežádoucí pozastavení výroby na delší časový úsek. Tyto případy mohou ve svém důsledku přinést náklady na přestavbu výrobní linky, či náklady na odvolání sjednané dopravy. Nákup vlastní technologie laserového řezání pomůže minimalizovat časové i finanční ztráty plynoucí z těchto situací.

6.4 Změna použité technologie

Ve výrobním sortimentu firmy se nachází cca 3 000 modifikací řetězů, které se skládají z jednotlivých dílů. Všechny díly mají přiřazeno oborové číslo s vytvořeným technologickým postupem. Při pořízení technologie lze předpokládat změnu postupů u některých typů součástí, které jsou momentálně vyráběny podle starých postupů na více operací.

6.5 Bezpečnostní přínosy

Jedním z aktuálních témat společnosti je bezpečnost práce na lisech. Se zaváděním stále přísnějších bezpečnostních opatření u lisovacích nástrojů ale dochází k poklesu produktivity práce a v některých případech také k nárustu počtu vadných dílů. Tato problematika může v budoucnu způsobit převedení části výroby na zpracování laserem, který plní výrobcem zaručené bezpečnostní normy.

6.6 Možnosti značení

Jedním z požadavků společnosti je systém značení, který zaručí správnou identifikaci výrobku. Laser umožňuje libovolné značení řezaných dílů, bez vstupních nákladů na výrobu nástroje. Značení může sloužit jako identifikační prvek celé zakázky, které je důležité i pro případné reklamace. Tento systém by umožnil jednoznačné a nezpochybnitelné označení zakázky, z kterého by bylo možné určit přesné datum výroby. Ukázky značení jsou na obrázku 6.3.



Obr. 6.3 Ukázky laserového značení dílců vybraným strojem.

6.7 Variabilita ve výrobě

Ve výrobě společnosti se vytíženost jednotlivých pracovišť liší dle charakteristiky sjednaných zakázek. Nezřídka se stává, že jsou určitá pracoviště nárazově přetížená a nestíhají plnit termínové požadavky výroby. Laser je ze své podstaty variantou pro částečné zastoupení výroby v lisovně a obrobně. Nejdůležitější je v tomto ohledu zastupitelnost frézování, které často patří mezi nepřetěžovanější místo výroby.

ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce byla studie, výběrové řízení a ekonomické zhodnocení při zavedení nové nekonvenční technologie do výrobního procesu společnosti Řetězy Vamberk. Hlavními důvody pro zadání tohoto tématu byly rostoucí náklady na kooperaci výroby a rozřešení dlouholeté diskuze nad otázkou vhodnosti nákupu nové technologie.

Rozborem výrobního programu společnosti, literární studií a porovnáním s ostatními technologiemi došlo k utvrzení původního záměru, kterým bylo výběrové řízení na nákup laserového řezacího stroje. Po výběru optimálního zástupce proběhlo ekonomické porovnání s náklady na kooperaci výroby.

Bylo zjištěno, že v případě splnění plánovaného vytížení stroje se bude jednat o velmi efektivní investici a to i přesto, že jsou kalkulace porovnávány s kooperací, jejíž ceny jsou ve srovnání s konkurencí velmi nízké. V případě kooperace u jiného výrobce by se stroj stal ekonomicky efektivní i při nižší vytíženosti.

Z hlediska společnosti je důležité, aby se s novým strojem seznámili vedle technologů také konstruktéři a pracovníci obchodu. Právě ti mohou svou prací zásadně ovlivnit vytíženost stroje a tím se podílet na výsledcích investice.

V závěrečném hodnocení se doporučuje společnosti Řetězy Vamberk s r.o. nákup vybraného stroje pro následující důvody:

- rostoucí trend nákladů na kooperaci výroby,
- výrazná ekonomická efektivita při splnění plánovaného vytížení stroje,
- zvýšení nákladů na kooperaci v případě změny kooperační firmy,
- zvýšení ekonomické efektivity po odepsání stroje,
- snížení nákladů na opravy a chyby ve výrobě,
- zvýšení akceschopnosti výroby,
- zvýšení variability výroby,
- ostatní důvody uvedené v diskuzi.

Nákup nové technologie je vždy neznámou otázkou. Vysoká počáteční investice často vzbuzuje obavy ze skutečné návratnosti vložených finančních prostředků. Po vypracování této diplomové práce je nákup stroje hodnocen jako správné rozhodnutí, které firmu posune vpřed nejen z ekonomického hlediska.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BARCAL, Jaroslav. *Nekonvenční metody obrábění*. Skriptum FSI ČVUT. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1989
2. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 8070994304.
3. HÍREŠ, Ondrej, Michal HATALA a Sergej HLOCH. *Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým oblúkom*. 1. vydání. Jiří Pustina: Ostrava – Poruba, 2007, 147 s. ISBN 978-80-8073-769-6.
4. KRAJNÝ, Zdenko. *Vodný lúč v praxi WJM*. 1. vydanie, Bratislava: Ing. Michal Mračko, 1998, 214 s. ISBN 80-8057-091-4.
5. *Řetězy Vamberk* [online]. © 2012 [vid. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.retezy-vam.com/cs/produkty-vyroba-retezu.html>
6. HOSTINSKÝ, M. *Návrh lisovacího přípravku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 55s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D..
7. *Řetězy Vamberk. Řetězy Olomouc* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.retezyolomouc.cz/retezy-vamberk>
8. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8.
9. *PKIT* [online]. © 2008 [vid. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/index.php>
10. *Bolzano Bohdan* [online]. © 2015. [vid. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/>
11. *JKZ BUČOVICE a.s.* [online]. © 2010. [vid. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/>
12. Hardox. [2015]. *SSAB* [online]. [vid. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Datasheets/en/168_HARDOX_450_UK_Data%20Sheet.pdf?epslanguage=en
13. Product. ©2011. *BEBON* [online]. [vid. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.steel-plate-sheet.com/Steel-plate/DIN/St372.html>
14. ČSN 41 4140. *OCEL 14 140 chromová*. Praha.
15. Material specification sheet. 2014. *Saarstahl* [online]. [vid. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.saarstahl.com/fileadmin/saarstahl_extranet/images/04_produkte/walzstahlsorten/english/7182_27MnCrB52.pdf
16. *Trumpf Česká Republika* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs.html>
17. *MicroStep* [online]. © 2014 [vid. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.microstep.sk/>
18. *AWAC* [online]. [2015]. [vid. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.awac.cz/cz>

19. *Bystronic* [online]. [2015]. [vid. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.bystronic.cz/cs/>
20. *MITSUBISHI ELECTRIC* [online]. © 2014 [vid. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://mitsubishi-laser.cz/>
21. *AMADA* [online]. © 2015. [vid. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.amada-mt.de/index.php/en/>
22. *AMADA* [online]. © 2015. [vid. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.amada.de/>
23. *STEMA-TECH* [online]. 2014 [vid. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.stematech.cz/>
24. Základní princip laseru a jejich dělení. NOVÁK, Miroslav. *Lasery a Optika* [online]. 2011-03-15 [vid. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
25. Lasery a jejich aplikace. ŠULC, Jan. *PLS Laser systems s.r.o.* [online]. 2002-10-08 [vid. 2015-05-20]. Dostupné z: www.plslaser.cz/pdf/lasery.pdf
26. Cesta k objevu. KUSALA, Jaroslav. *Lasery kolem nás* [online]. 2004 [vid. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k12.htm>
27. Laserové a plazmové řezání. In: *Http://homen.vsb.cz* [online]. [2009] [vid. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
28. *14220* [online]. 2013 [vid. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/vyuziti-plazma-v-technologie-1-dil/>
29. *Flow* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ>
30. Plazma přednosti a nevýhody. *PLAZMACZ* [online]. [2015] [vid. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
31. Hlavní typy laserů používaných v průmyslu. NOVÁK, Miroslav. *LAO* [online]. 2011-03-15 [vid. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>
32. *PHOTONICS spectra* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=17863>
33. HAVRILLA, David a Rüdiger BROCKMANN. Třetí generace diskových laserů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2009 [vid. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/treti-generace-diskovych-laseru.html>
34. Finance. *IDNES.cz* [online]. 2015 [vid. 2015-05-27]. Dostupné z: http://kalkulacky.idnes.cz/cr_uverova-kalkulacka.php

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

B	[%]	bór
C	[%]	uhlík
C_{dp}	[Kč]	cena dopravy za průměrné čtvrtletí z let 2011 až 2014
C_{dQ15}	[Kč]	cena celkové dopravy v prvním čtvrtletí 2015
C_{edQ15}	[Kč]	cena externí dopravy v prvním čtvrtletí 2015
C_{fdQ15}	[Kč]	cena firemní dopravy v prvním čtvrtletí 2015
C_{fn}	[€]	celkové fixní náklady za 5 let
C_{k1-1}	[Kč]	cena kooperace za první čtvrtletí roku 2011
C_{k1-2}	[Kč]	cena kooperace za druhé čtvrtletí roku 2011
C_{k4-4}	[Kč]	cena kooperace za čtvrté čtvrtletí roku 2014
C_{kg}	[Kč]	výkupní cena jednoho kilogramu šrotu
C_{kQ}	[Kč]	celková cena průměrné kooperace z let 2011 až 2014
C_m	[Kč]	cena materiálu
C_n	[Kč]	cena nástroje
C_{pk}	[Kč]	cena průměrné čtvrtletní kooperace
C_{pkk}	[Kč]	cena průměrné pětileté kooperace
C_{po}	[Kč]	průměrná cena ztrátového odpadu
C_{ps}	[€]	celkové náklady za 5 let provozu stroje
C_{psK}	[Kč]	cena pětiletého provozu stroje v Kč
C_s	[€]	pořizovací cena stroje
C_{tpK}	[Kč]	celková teoretická pětiletá kooperace dle produkce
C_{vp}	[Kč]	cena jednoho výpalku
C_{vs}	[Kč]	cena jednoho výstřižku
Cr	[%]	chrom

Cu	[%]	měď
G _{pr}	[%]	vytížení stroje ve dvousměnném provozu
H _l	[Kč]	hodinová sazba lisovny
H _n	[Kč]	hodinová sazba nástrojárny
H _{nl}	[Kč]	celkový hodinový náklad stroje včetně efektivity
H _{op}	[€/hod]	mzda a další náklady na operátora
H _{pr}	[€/hod]	mzda a další náklady na programátora
H _{vn}	[€]	variabilní náklady při plné vytíženosti stroje
H _{zs}	[€/hod]	mzda a další náklady na zaměstnance stroje
K _€	[-]	aktuální kurz CZK/EUR
L _r	[m]	roční délka řezu
L _{rc}	[m]	celková délka řezu z let 2011 až 2014
Mn	[%]	mangan
Mo	[%]	molybden
N _č	[-]	počet sledovaných čtvrtletí
N _{čp}	[-]	počet čtvrtletí v pěti letech
N _{Flcg}	[€]	celkové náklady stroje F na produkci stroje LCG
N _{m6}	[Kč]	náklad na průměrnou cenu metru řezu
N _{RBv}	[ks]	počet vzorků z budoucí roční produkce
N _{Rv}	[ks]	počet vzorků z průměrné roční produkce
N _{tab}	[ks]	počet tabulí
Ni	[%]	nikl
O _v	[mm]	obvod vzorku
P	[%]	fosfor
P _m	[%]	procento využitelnosti materiálu

P_o	[%]	procento ztrátového odpadu
S	[%]	síra
Si	[%]	křemík
T_h	[hod]	počet odpracovaných hodin na nástroji
U_n	[€]	úrokové navýšení za 5 let
U_s	[€]	údržba stroje za 5 let
U_{tpp}	[Kč]	celková úspora při teoretickém pětiletém provozu
l	[dm]	délka tabule
m_p	[kg]	hmotnost polotovaru
m_{pol}	[kg]	hmotnost zpracovaných polotovarů z let 2011 - 2014
m_s	[kg]	čistá hmotnost součástí z let 2011 až 2014
m_{sQ15}	[kg]	čistá hmotnost součástí z prvního čtvrtletí 2015
n_{hp}	[€]	celkový počet provozních hodin za 5 let
n_{jH}	[-]	počet jízd do Hradce Králové v prvním čtvrtletí 2015
n_{jR}	[-]	počet jízd do Rokytнице v prvním čtvrtletí 2015
n_v	[-]	počet výstřižků
s	[dm]	šířka tabule
s_H	[km]	délka jedné pracovní cesty do Hradce Králové
s_R	[km]	délka jedné pracovní cesty do Rokytнице
t_{RBv}	[hod]	počet hodin budoucí roční produkce vzorků
t_{Rc}	[hod]	celkový roční čas
t_{Rv}	[hod]	potřebný čas k vyřízení vzorků z roční produkce
t_{ref}	[dm]	referenční tloušťka tabule
t_v	[s]	čas výroby jednoho vzorku dle časové studie
t_{vs}	[s]	čas na výrobu jednoho výstřižku

μ	[%]	efektivita výroby
μ_F	[%]	vytíženost stroje F z průměrné roční produkce
μ_{LCG}	[%]	vytíženost stroje LCG z průměrné roční produkce
ρ	[kg/dm ³]	hustota

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.0	Areál společnosti Řetězy Vamberk s r.o. z leteckého snímku.....	9
Obr. 1.1	Ukázka z výrobního sortimentu společnosti Řetězy Vamberk.....	10
Obr. 1.2	Model části složitěho řetězu z automobilového průmyslu.....	11
Obr. 1.3	Ukázka ze sortimentu kooperovaných dílů.....	12
Obr. 1.4	Procentuální srovnání zpracovaných polotovarů dle jakosti.....	13
Obr. 1.5	Příklad výrazné chyby řezu.....	16
Obr. 2.1	Znázornění principu abrazivního vodního paprsku.....	23
Obr. 2.2	Znázornění jednotlivých skupenství hmoty.....	24
Obr. 2.3	Znázornění procesu řezání paprskem plazmy.....	25
Obr. 2.4	Obecné schéma laseru.....	26
Obr. 2.5	Princip stimulované emise záření.....	27
Obr. 2.6	Princip vzniku laserového paprsku.....	28
Obr. 2.7	CO ₂ rezonátor s podélným prouděním a radiální turbínou od společnosti Trumpf.	29
Obr. 2.8	Schéma vláknového laseru.....	30
Obr. 2.9	Schéma diskového laseru.....	31
Obr. 2.10	Diskový laser od společnosti Trumpf (disk vpravo).....	31
Obr. 2.11	Srovnání kvality hrany metod řezání plamenem (nahore) a tavného řezání	32
Obr. 2.12	Názorná ukázka tvarových možností laserového řezání od firmy Mitsubishi. Portrét ženy vypálený z tenkého plechu umístěný na černém podkladu.	33
Obr. 2.13	Miniaturní výpalek jízdního kola z plechu tloušťky 3 mm (Bystronic)	34
Obr. 2.14	Princip zakládání desek na dorazy při děrování (vlevo). Tvarová maska pro zakládání menších, nebo tvarově složitějších dílů vpravo.	34
Obr. 2.15	Rozměry vnitřní desky s ozubením.....	35

Obr. 3.1	Vláknový 4 kW laser FOL 3015 AJ od společnosti Amada.....	39
Obr. 3.2	TruLaser od společnosti Trumpf z nejnižší produktové série je díky nižším investičním nákladům vhodným řešením pro zákazníky s omezeným rozpočtem.	40
Obr. 3.3	Varianta laseru typu MSF doplněného o zařízení na řezání trubek a profilů.	41
Obr. 3.4	Hlavní sídlo společnosti Bystronic ve švýcarském městě Niederönz.	42
Obr. 3.5	Areál výrobního závodu a sídlo společnosti Trumpf v německém Ditzingenu.	43
Obr. 3.6	Fotografie z výrobního závodu Mitsubishi v Nagoji se zástupcem pro Evropu.	44
Obr. 3.7	Předváděcí a školicí středisko v Haanu.....	45
Obr. 3.8	Porovnání kvality povrchu u testovaných součástí.....	51
Obr. 3.9	Laserový řezací stroj LCG-3015 od společnosti Amada.....	55
Obr. 3.10	Uživatelské prostředí programu Dr. ABE.....	56
Obr. 4.1	Snímek prostředí programu Bysoft 7 během importování dílu.....	57
Obr. 4.2	Zadání základních vlastností dílce.....	58
Obr. 4.3	Detail kontury dílce při nahrání do programu.....	58
Obr. 4.4	Znázornění detailu řezu u jedné součásti.....	59
Obr. 4.5	Celkový přehled času zpracování a délky řezu pro jeden díl.....	59
Obr. 4.6	Zadání formátu tabule pro tvorbu řezného plánu.....	60
Obr. 4.7	Detail automatického rozložení dílců po celé tabuli.....	60
Obr. 5.1	Přehled ceny kooperace laseru za jednotlivá čtvrtletí od roku 2011.	62
Obr. 6.1	Stříhadlo tvaru T – 42.....	68
Obr. 6.2	Srovnání ceny výrobku dle velikosti série.....	70
Obr. 6.3	Ukázky laserového značení dílců vybraným strojem.....	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1	Jakosti polotovarů zpracovaných v kooperaci laserem.....	13
Tab. 1.2	Složení oceli CK45.....	14
Tab. 1.3	Složení oceli 42CrMo4.....	14
Tab. 1.4	Složení oceli St 52-3.....	14
Tab. 1.5	Složení oceli St 37-2.....	15
Tab. 1.6	Složení oceli 37CR4.....	15
Tab. 1.7	Složení oceli Hardox 450.....	15
Tab. 1.8	Složení oceli SB27M12CB.....	16
Tab. 1.9	Přehled zpracovaného materiálu dle síly polotovaru.....	17
Tab. 1.10	Zjednodušený přehled zpracovaného materiálu dle síly plechu...	18
Tab. 1.11	Počty tabulí z referenční tloušťky plechu zpracovaných v kooperaci.	19
Tab. 1.12	Průměrná délka řezu z tabule o tloušťce 4 mm.....	20
Tab. 1.13	Průměrná délka řezu z tabule o tloušťce 6 mm.....	20
Tab. 1.14	Průměrná délka řezu z tabule o tloušťce 10 mm.....	20
Tab. 1.15	Stanovení procentuálního podílu délek řezu.....	21
Tab. 1.16	Stanovení procentuálního podílu délek řezu.....	21
Tab. 2.1	Porovnávací tabulka vhodnosti paprskových technologií dle požadavku.	35
Tab. 2.2	Kalkulace nákladů technologie řezání vodním paprskem.....	36
Tab. 3.1	Přehled nabídek strojů dle typu rezonátoru a ceny.....	46
Tab. 3.2	Časy řezů dle výrobců.....	46
Tab. 3.3	Teoretický počet vzorků nařezaných z průměrné roční produkce.	47
Tab. 3.4	Čas potřebný ke zpracování vzorků z průměrné roční produkce..	48
Tab. 3.5	Vytíženost strojů ve dvousměnném provozu průměrnou výrobou.	48
Tab. 3.6	Rozložení počtu hodin k budoucí roční výrobě vzorků při	49

naplnění dvou směn.

Tab. 3.7	Počty vzorků z uvažované budoucí roční produkce.....	50
Tab. 3.8	Reálně změřené časy u tří testovaných součástí.....	51
Tab. 3.9	Subjektivní hodnocení strojů dle kritérií.....	51
Tab. 3.10	Přehled hodinových variabilních nákladů při plné vytíženosti jednotlivých strojů.	52
Tab. 3.11	Přehled celkových fixních nákladů pro 5 let provozu stroje.....	53
Tab. 3.12	Přehled celkových nákladů za 5 let provozu stroje.....	54
Tab. 5.1	Přehled ceny, počtu a hmotnosti výpalků zpracovaných v kooperaci.	61

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Výkres součásti VZOREK 5
Příloha 2: Výkres součásti VZOREK 3
Příloha 3: Výkres součásti VZOREK 2
Příloha 4: Výkres součásti KROUŽEK 01
Příloha 5: Výkres součásti DESKA 02
Příloha 6: Výkres součásti DESKA 01

